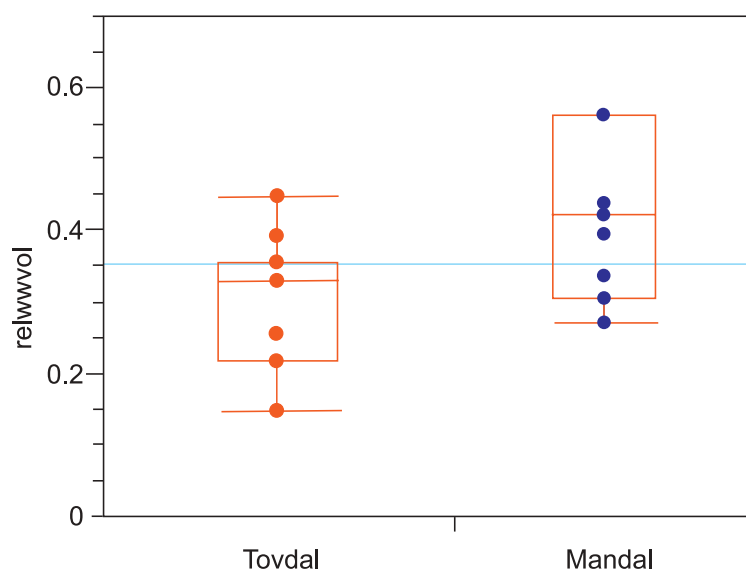


NIVA



RAPPORT LNR 4688-2003

Faktorer som påvirker
problemvekst av
krypsiv i Sør-Norge;
datagjennomgang,
analyser og forslag om
videre studier.



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Faktorer som påvirker problemvekst av krypsiv i Sør-Norge; datagjennomgang, analyser og forslag til videre studier.	Løpenr. (for bestilling) 4688-2003	Dato 2003-06-23
	Prosjektnr. Udemnr. O-21848	Sider Pris 34
Forfatter(e) Atle Hindar, Stein W. Johansen, Tom Andersen og Tuomo Saloranta	Fagområde Hydrologi og vassdragsregulering	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Krypsivprosjektet v/Fylkesmannen i Vest-Agder	Oppdragsreferanse FM 2002/04232/eve
--	---

Sammenheng Krypsivproblemet i Sørlandsvassdrag og innsjøer på Sørvestlandet førte til etableringen av Krypsivprosjektet på Sørlandet. Målet var å skaffe mer kunnskap om de faktorer som kan gi problemvekst og tiltak for å hindre forringelse av vannforekomster med problemvekst. Rapporten er utarbeidet i en tidlig fase i dette prosjektet. Vi har hatt som målsetting å gi grunnlag for å finne fram til hva som bør gjøres for å tilfredsstille målet om bedre årsaksavklaring. Vi har blant annet vurdert om de data som er samlet inn i ulike sammenhenger er egnet for mer omfattende statistisk bearbeiding. To slike analyser er også gjennomført. Basert på datagjennomgang og analyser er det foreslått hva som bør ha fokus og hvilke datasett som bør samles inn.
--

Fire norske emneord 1. Krypsiv 2. Problemvekst 3. Påvirkningsfaktorer 4. Dataanalyser	Fire engelske emneord 1. <i>Juncus supinus</i> 2. Problematic growth 3. Regulating factors 4. Data analyses
--	--



Atle Hindar
Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder

ISBN 82-577-4356-9

Nils Roar Sælthun
Forskningsdirektør

Krypsivprosjektet på Sørlandet

**Faktorer som påvirker problemvekst av krypsiv i
Sør-Norge; datagjennomgang, analyser og forslag til
videre studier.**

Forord

Problemvekst av krypsiv har vært registrert i vann og vassdrag i Agder og Rogaland siden midten på 1980-tallet. NIVA har samlet inn data i ulike sammenhenger siden den tid. Spesielt har det vært fokus på vassdragsregulering og innsjøkalking som mulige årsaker.

I forbindelse med oppstarten på et større krypsivprogram i 2002, Krypsivprosjektet på Sørlandet, tok NIVA initiativ til å gjennomføre foreliggende prosjekt. Målsettingen var å se om det finnes mer informasjon i det totale datamaterialet som finnes på krypsiv enn det en hittil har kommet fram til og gi anbefalinger om hvilke typer undersøkelser som en bør sette igang innenfor rammen av det nye programmet.

NIVAs prosjektforslag ble akseptert ved undertegnelsen av kontrakt den 19.10.2002. Krypsivprosjektet v/Fylkesmannen i Vest-Agder har finansiert prosjektet. Kontaktpersoner har vært prosjektleder Ørnulf Haraldstad og prosjektsekretær Edgar Vegge.

Grimstad, 23. juni 2003

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	6
Summary	7
1. Bakgrunn	8
2. Mål med prosjektet	8
3. Om krypsiv	8
4. Påvirkningsfaktorer	9
4.1 Generelt	9
4.2 Indikatorer som representerer påvirkningsfaktorene.	9
4.2.1 Metereologi og lys	10
4.2.2 Hydrologi	10
4.2.3 Kraftregulering	11
4.2.4 Vannkjemi/sedimentkjemi	11
4.2.5 Topografi	12
5. Eksisterende data	14
5.1 Krypsiv innsjøer	14
5.1.1 Regionale innsjøundersøkelser	14
5.1.2 Sedimentkjemi-vannkvalitet i forhold til krypsivvekst	15
5.1.3 Tidsserier for vekstmålinger	15
5.1.4 Tidsserier med forekomst/utbredelse	16
5.1.5 Regionalt makrofyttmateriale	16
5.2 Krypsiv elver	16
5.2.1 Otra	16
5.2.2 Mandalselva	17
5.2.3 Suldalslågen	17
5.2.4 Kvina	17
5.2.5 Elver i DN's kalkingsovervåking	18
6. Vurdering av data for statistisk analyse	18
6.1 Krypsiv i innsjøer	18
6.2 Krypsiv i elver	19
7. Ordinasjonsanalyse (CCA) for Tovdal- og Mandalsvassdraget	20
7.1 Metoden	20
7.2 Materialet	20
7.3 Resultater	21
7.3.1 Siling av miljøvariable	21
7.3.2 Ordinasjonsanalyse	24

8. Regresjonsanalyse av dekningsgrad av krypsiv i Tovdal- og Mandalsvassdraget	27
9. Anbefaling om videre studier	30
10. Konklusjoner	31
11. Referanser	32

Sammendrag

Krypsivproblemet i Sørlandsvassdrag og innsjøer på Sørvestlandet har eksistert en del år og det er gjennomført eksperimentelle og mer overvåkingspregete undersøkelser for å gi svar på årsaker til framveksten. Spesielt har problemvekst av krypsiv blitt assosiert med kraftregulering (endring i hydrologi/islegging) og kalking (tilførsel av kalk på sedimentoverflaten/endret næringstilgang).

Krypsivprosjektet på Sørlandet ble etablert for å skaffe mer kunnskap om de faktorer som kan gi problemvekst og tiltak for å hindre forringelse av vannforekomster med problemvekst. Rapporten er utarbeidet i en tidlig fase i dette prosjektet. Vi har hatt som målsetting å gi grunnlag for hva som bør gjøres for å tilfredsstille målet om bedre årsaksavklaring.

En viktig forutsetning for å finne fram til behovet for nye data er at eksisterende data er brukt optimalt. Vi ville derfor vurdere om de data som er samlet inn i ulike sammenhenger er egnet for mer avansert statistisk bearbeiding. Det ville i tilfelle gjøre det mulig å finne mønstre i et større og sammensatt datamateriale, som ikke framkommer ved kun å undersøke hvert enkelt av dem. Basert på slike analyser mente vi også at en kunne finne fram til hvilke typer og mengder av data som må til for å komme videre i forståelsen av årsakssammenhenger.

Konklusjonene fra prosjektet er at det foreligger mye, men spredte data for krypsiv fra innsjøer og elver, vesentlig fra Agder-fylkene. Nærmest alt materialet er samlet av NIVA. Men selv om datamaterialet har vært egnet til å belyse konkrete problemstillinger, er ikke alt like godt egnet til videre statistiske analyser. Det skyldes først og fremst at kravene til datasett for slike analyser er strenge og at datamaterialet er spredt i tid og rom. Noe av årsaken er også at data ikke var lagt inn i en database med tilhørende stedfesting og omkringinginformasjon. Det var derfor vanskelig å ha full oversikt over materialet.

Det er få datasett med tidsutvikling fra samme sted. Dette begrenser bruken av data mot endringer som går over lang tid og som eventuelt har stor årlig variasjon (forsuring, klimavariasjon). Innledende analyser fra Tovdal- og Mandalselva viser at analyser basert på funn/ikke funn av krypsiv gir liten informasjon om hvilke faktorer som påvirker krypsiv. Det skyldes at krypsiv er vidt utbredt og at planten er svært tolerant overfor variasjon i miljøet.

Problemvekst kjennetegnes blant annet av høy dekningsgrad for krypsiv. Analysen av dekningsgrad viser at strømhastighet er viktigst for variasjon i dekningsgrad. Det er også funnet en uavhengig tidstrend som forklarer mye av variasjonen. Videre kan sommertemperatur (både i luft og vann), høyde over havet og organisk karbon i vannet forklare deler av variasjonen.

Disse analysene er av en slik art at det ikke bør gis tolkninger utover de vi har gitt i denne rapporten. Det er fordi datamaterialet setter grenser for denne tolkningen og at disse grensene må vurderes av de som kjenner datamaterialet og har utført analysene.

Datavurderingen og analysene har gitt grunnlag for å anbefale videre arbeid med å finne årsaker til problemvekst av krypsiv. Strømhastighet og forhold som endrer denne har allerede vært i fokus i og med at regulering er vist å være utløsende faktor for problemvekst. Vi mener at en bør finne en mer nyansert måte å karakterisere strømhastighet på. Det vil si at en både kan arbeide mer med innsamlede data og at en bør kunne inkludere flere observasjoner i framtidige undersøkelser. Variasjon i forsuring og kalking er dårlig representert i de datasett som er tilgjengelige og slike datasett bør skaffes. Data som viser utvikling over tid i ulike vassdragstyper (regulerte, sure, kalkede og referanser til disse) er svært begrenset. Intensivert overvåking og reanalyser bør derfor gjennomføres.

Summary

Title: Factors affecting problematic growth of the aquatic macrophyte *Juncus supinus* in South Norway; evaluation of data, analyses and suggestions for further studies.

Year: 2003

Authors: Atle Hindar, Stein W. Johansen, Tom Andersen og Tuomo Saloranta

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4356-9

Problematic growth of the aquatic macrophyte *Juncus supinus* in rivers and lakes in southern Norway has existed for some time, and monitoring and experimental work has been carried out in order to reveal important regulating factors for this growth. A project established in 2002 had the aim of creating more knowledge on regulating factors and on measures to control excessive growth.

The main aims of this report were to go through several datasets on *Juncus*, mainly found in NIVA files, evaluating these data for further analyses, carry out statistical analyses and make suggestions for future work.

We found that, although much data exist on *Juncus* growth, coverage on stream beds and lake bottoms, use of more advanced statistical analyses was not straight forward. This was due to restrictions required for such analyses and to the fact that existing data are scattered in time (few long-time data records) and room (relatively few data from several different locations). Some data were not easily available, and others lacked matching data for water chemistry, hydrology and other characteristics.

Some of the few "long-time" (few years) datasets for rivers were analysed using ordination analysis (CCA) and regression analysis. Due to the fact that *Juncus supinus* is found at almost all locations in both of the analysed rivers, few conclusion regarding regulating factors for *Juncus* could be drawn from the ordination analysis. Regression analysis on coverage for this single macrophyte (univariate analysis) revealed that stream velocity was the most important regulating factor. This underlines the importance of hydroelectric power production as regulating factor as it changes stream velocity. The other significant factors were (in order of decreasing importance): a general increasing time-trend, air and water summer temperature, altitude, and dissolved organic matter. The samples were mainly from limed parts of the rivers, and this put restrictions on the possibility to look at acidification and liming as regulating factors.

We recommend:

- more emphasis on stream velocity in further analyses and future sampling,
- that datasets from acidified, non-acidified and limed lakes are collected and analysed,
- intensified monitoring of different river types (regulated, acidified, limed, non-affected) to get datasets suited for analyses on acidification trends and climatic change, and
- reanalyses of problematic growth in lakes to get information on long-term trends

1. Bakgrunn

Krypsivproblemet i Sørlandsvassdrag og innsjøer på Sørvestlandet har eksistert en del år og det er gjennomført eksperimentelle og mer overvåkingspregete undersøkelser for å gi svar på årsaker til framveksten. Spesielt har problemvekst av krypsiv blitt assosiert med kraftregulering (endring i hydrologi/islegging) og kalking (tilførsel av kalk på sedimentoverflaten/endret næringstilgang). Både fra forskning og forvaltning er det i løpet av de to siste år blitt utarbeidet oppsummerende rapporter (Johansen m.fl. 2000; Lynnebakken og Moe 2001).

I forbindelse med etablering av et nytt og noe bredere anlagt krypsivprogram var det behov for å finne ut hva som nå trengs for å gi bedre svar på spørsmål som hittil ikke har vært godt nok belyst eller dokumentert. På et arbeidsmøte i Kristiansand den 10. juni 2002 foreslo NIVA å ta utgangspunkt i de faktorer en nå regner med kan ha størst betydning for krypsivproblemet og så analysere databehovet for å tilfredsstille målet om bedre årsaksavklaring.

En viktig forutsetning for å finne fram til databehovet er at eksisterende data er brukt optimalt. Ved å bruke mer avanserte statistiske metoder er det mulig å finne mønstre i det totale datamaterialet som ikke framkommer ved kun å undersøke hvert enkelt av dem. På den måten kan både kjente faktorer, men også andre faktorer framkomme som viktige for å forklare problemvekst. Basert på slike analyser kan en finne fram til hvilke typer og mengder av data som må til for å komme videre i forståelsen av årsakssammenhenger.

2. Mål med prosjektet

Målsettingen med det prosjektet som rapporteres her har vært å:

- 1) ta utgangspunkt i uttalte målsettinger for Krypsivprosjektet på Sørlandet,
- 2) liste opp de problemvekstfremmende faktorene som en antar er viktigst,
- 3) vurdere hvilke typer data (indikatorer) som må foreligge for å karakterisere faktorene,
- 4) gi en oversikt over de datasett som finnes i NIVA og hos andre aktuelle dataleverandører og vurdere deres egnethet for videre analyser,
- 5) foreslå og gi eksempler på mest relevant databearbeidelse, særlig multivariate statistiske metoder, som kan identifisere underliggende mønstre i eksisterende datamateriale,
- 6) basert på datagjennomgang og analyser skal det vurderes hvilke datasett og analyser som kreves for å gi bedre svar på målsettingene.

3. Om krypsiv

I utgangspunktet er krypsiv en liten rosettplante (isoetide) som vokser sammen med andre rosettplanter som brasmegras, botnegras og tjønngras i innsjøer og stilleflytende partier i elver i hele Sør-Norge. Planten er flerårig og kan lenge stå som små 10-20 cm høye enkeltrosetter og bare addere til nye blader til den samme rosetten. Problemvekst oppstår på grunnlag av dannelsen av sideskudd (årsskudd, utløpere) fra rosettplanten som kan vokse opp til vel 1 meter pr. år under ”gunstige forhold”. Hvert sideskudd/årsskudd har ofte nodier med anlegg for røtter og blader for hver 5-20 cm oppover stengelen. Fra hvert nodie kan en ny rosettplante eller et nytt sideskudd/årsskudd utvikle seg påfølgende vekstsesong.

En rosettplante kan på denne måten gi opphav til 3 m lange planter over flere år. Både i innsjøer og elver er optimal dyp 0,5 – 1,5 m, mens den i begge tilfeller kan komme til overflaten på 2,5 – 3 m dyp. I innsjøer og stille partier i elver vokser plantene til overflaten og kan som et sluttstadium danne tette grønne overflatematter med frøsetting. I elver med mer strøm danner rosettplantene krypende utløpere som gir opphav til nye rosettplanter nedstrøms de gamle. På denne måten fortettes rosettplantene til sammenhengende tepper av krypsiv på elvebunnen. Strømhastigheten vil avgjøre om sideskudd kan nå overflaten og utvikle tette bestander der, eller om teppet av kortvokst krypsiv forblir under vannflaten.

Krypsiv kan altså opptre med flere ulike vekstformer avhengig av hvordan miljøfaktorene virker (Johansen m.fl. 2000). Denne rapporten har fokus på faktorer som kan gi problemvekst av krypsiv i innsjøer og elver i Sør-Norge. Med **problemvekst** mener vi her kraftig vekst av krypsivplanter med flerårige skudd. Krypsivet danner tette bestander og har stor arealdekning (>25%), oftest opp i overflaten.

4. Påvirkningsfaktorer

4.1 Generelt

Problemvekst av krypsiv påvirker bruksmulighetene sterkt for vann og elver, og det er et uttalt mål for Krypsivprosjektet på Sørlandet både å få mer kunnskap om årsakssammenhenger og om tiltak for bekjempelse av veksten. Det prosjektet som rapporteres her er konsentrert om årsaker til problemvekst, og i dette kapitlet gjennomgår vi påvirkningsfaktorene.

Utbredelse av krypsiv i vann og vassdrag ser ikke ut til å være begrensende for problemvekst i og med at krypsiv er en naturlig del av floraen i de fleste vassdrag vi har undersøkt i Sør-Norge, se også analysene i denne rapporten. Problemveksten dukker opp hvis en eller flere av andre faktorer er til stede.

Før prosjektet ble satt igang var det enighet i forskning og forvaltning om at vassdragsregulering, forsuring, kalking og klimaendringer er eller kan være viktig for forståelsen av krypsivproblemet. Faktorene kan trolig hver for seg og/eller sammen være tilstrekkelig eller av betydning for problemvekst. Dette er imidlertid ikke avklart, iallfall ikke for alle faktorer og kombinasjoner av dem.

En av NIVAs konklusjoner fra tidligere arbeider (Johansen m.fl. 2000) er at regulering er tilstrekkelig for å forklare problemvekst i enkelte vassdragsavsnitt, mens dette kan være mer sammensatt i andre deler av samme vassdrag og i andre vassdrag. Det er også kjent at krypsiv kan danne problemvekst i innsjøer som ikke er regulert, men kalket. Det vil si at det også er andre faktorer som kan være tilstrekkelige. Her er imidlertid årsaken mer uklar siden det kan være sammenfall i tid mellom f.eks. kalking, mindre forsuring, økt fargetall og endrete klimatiske forhold (høyere vintertemperatur, mindre isdekke og større vinteravrenning).

4.2 Indikatorer som representerer påvirkningsfaktorene.

En viktig del av prosjektet har vært å finne fram til hvilke variable som kan representere de påvirkningsfaktorene vi vil undersøke. Med variable mener vi f.eks. målte konsentrasjoner av et stoff eller målt vannføring, mens parametre er noe vi avleder fra det som er målt. Beregnet forhold mellom vinteravrenning og årsavrenning er en parameter. Både variable og parametre kan kalles indikatorer for den påvirkningsfaktoren de representerer. Påvirkningsfaktorer er her en betegnelse på karakteristiske, gjerne variable, forhold som kan tenkes å gi ulike livsbetingelser for krypsiv. De kan enten være naturlige eller menneskeskapte. Meteorologi (klima), vekstfaktorer (ofte avledet av andre

faktorer; f.eks. lys, temperatur), hydrologi, regulering, vannkjemi (generell, forsurening, kalking, næringssalter) og topografi har vi definert som påvirkningsfaktorer.

Mens gode indikatorer finnes for regulering, kalking og forsurening, kan indikatorer for meteorologi/klima søkes i ulike typer datasett. I teksten under og i **Tabell 1** har vi listet de faktorene og tilhørende indikatorer vi har kommet fram til. Innholdet i tabellen kan sammenliknes med de datasett vi har brukt i analysene (se **Tabell 2** i Kapittel 7).

4.2.1 Metereologi og lys

Krypsivplanten er flerårig og overlever vinteren med vekstsesongens biomasse inntakt. Dette er en svært viktig egenskap. Planter som har utviklet seg i vann tåler imidlertid ikke frost, slik at hele planter eller deler av planter som er frosset inn i isen vil visne og dø. Strengt vintre med mye is vil derfor sørge for slitasje/vissning og dermed en naturlig tynning og reduksjon av bestandene. På den andre siden vil redusert isdannelse i både innsjøer og elver bedre vinteroverlevelsen. Milde vintre med mye nedbør vil sørge for åpne vannspeil og ingen slitasje på plantene. Dette vil si at naturlige variasjoner i disse forholdene fra år til år må tas med i analyser av krypsiv.

Planten har et lavt lyskompensasjonspunkt mhp. vekst. Det vil si at den kan vokse under forhold med lite lys og også ha en lang vekstsesong.

Endringer i klima som medfører høyere vintertemperatur og mer nedbør, spesielt vinter nedbør i form av regn, kan i uregulerte elver skape hydrologiske regimer som ligner de en får på regulerte elveavsnitt.

Viktige variable og parametre kan være:

- årsmiddeltemperatur i luft
- middeltemp i luft for vinterperioden (des-mars)
- middeltemp i luft for sommerperioden (vekstsesongen)
- årsnedbør
- nedbør i vinterperioden
- nedbør i sommerperioden
- snødekke
- klimaindekser (North Atlantic Oscillation Index)
- lengden av isperioden på innsjøer og elver
- innstrålingsdata

4.2.2 Hydrologi

Temperatur i vann er her gruppert sammen med naturlige mengder og variasjoner i avrenning. Planten kan vokse under lave vanntemperaturer, men har ellers et bredt temperaturintervall hvor veksten kan være god. Det er målt god årsvekst i innsjøer som har kommet opp i over 20°C. Det kan dermed tenkes at temperatur ikke er så godt egnet for å forklare vekstforskjeller direkte. Det er verdt å merke seg at avrenningsmengde eller variasjon over året ikke behøver å være tilstrekkelig for å karakterisere vekseforholdene i vann. Vassdragets utforming er svært viktig, se topografi.

Viktige variable og parametre kan være:

- årsmiddeltemperatur i vann
- middeltemp i vann for vinterperioden (des-mars)
- middeltemp i vann for sommerperioden (vekstsesongen)
- døgngradsummer for perioder av året i forhold til vekstsesongen
- årsavrenning
- vinteravrenning

- sommeravrenning

4.2.3 Kraftregulering

Reguleringsinngrep i vassdrag påvirker i stor grad de hydrologiske forhold. Det finnes mange ulike typer reguleringsinngrep i elver hvorav bortfall av vann som følge av overføring til kraftverkstunel og utløp av kraftverk til elveavsnitt skaper de største endringer i de naturlige hydrologiske regimer. Hovedelementet i slike reguleringer er stabilisering og utjevning av vannføring. Krypsiv har vist seg å kunne respondere til dels kraftig på endringer i de hydrologiske forhold som medfører nye hydrologiske regimer i vassdragsavsnitt. Undersøkelser til nå har vist at to hovedområder skiller seg ut med hensyn på forekomst av problemvekst av krypsiv (Johansen m.fl. 2000):

- terskelbassenger på elveavsnitt med redusert årlig vannføring
- områder nedstrøms utløp kraftverk

Typiske eksempelområder er terskelbassengene i Otra ved Valle (Rørslett m.fl. 1990) og nedstrøms utløpet av kraftverkene Brokke i Otra (Rørslett 1987) og Håverstad i Mandalselva (Johansen 1993). Begge tilfellene med problemvekst nedstrøms utløp kraftverk er dokumentert etter tidsperioder hvor kraftverkene i hovedsak har fungert som jevnlastverk (stabil kjøring over lengere tid). I de senere 5-10 årene har man flere steder endret noe på kjøremønsteret til kraftverkene og kjørestrategier basert på ukependling, døgnregulering og effektkjøring er blitt mer vanlig. Hvilke effekter slike kjørestrategier har på vekst av krypsiv er til nå lite dokumentert og undersøkt (Johansen 2000, 2002). En kan tenke seg at ulike kjøremønstre kan ha både stimulerende og begrensende effekter på krypsiv.

Viktige variable og parametre kan være:

- vannføringsdata for elveavsnitt i regulerte og uregulerte elver
- flomfrekvens, utjevning av vannføring
- vinteravrenning i forhold til årsavrenning
- kjøremønster for kraftverk (jevnlast, ukependling, døgnregulering, effektkjøring)

4.2.4 Vannkjemi/sedimentkjemi

Krypsiv er en "CO₂-plante", dvs. at opptaket av uorganisk karbon skjer som CO₂. Det største opptaket skjer direkte fra vannfasen via bladene, men den kan også ta en mindre del fra sedimentet via røttene. Planten har stor grad av intern resirkulering av CO₂. I svakt surt vann (pH 5,0-5,5) foreligger uorganisk karbon vesentlig som CO₂, og krypsiv trives da også best i en svakt sur vannkvalitet. Denne vannkvaliteten er dominerende i mange områder i Sør-Norge pga en generelt "tynn" vannkvalitet med lite bufferstoffer.

Enhver prosess som bidrar til økt CO₂-nivå i vannfasen vil måtte regnes å kunne bidra til å stimulere veksten av krypsiv. Med surere vann pga forsuring vil en større andel av uorganisk karbon foreligge som CO₂. Økt mineralisering av organisk materiale og dermed frigjøring av CO₂ kan skje ved redusert forsuring (høyere pH stimulerer nedbrytingsprosesser).

Tilførsel av kalk gjøres for å heve pH og gjøre vann bedre egnet for fisk og andre forsurningsfølsomme organismer. CO₂ forbrukes når kalk løses opp, men dette gir eventuelt bare en midlertidig pH-påvirkning. På den annen side kan kalking gi økt nedbryting av organisk stoff og øke konsentrasjonen av løst organisk stoff. Dette kan igjen medføre økt konsentrasjon av CO₂ hvis CO₂ ikke luftes ut av vannet.

Vekstforsøk har vist at krypsiv foretrekker NH₄ som nitrogenkilde i stedet for NO₃ og at spesielt kombinasjonen høye NH₄ -og CO₂ -konsentrasjoner i vannfasen har gitt kraftig vekst av krypsiv. Alle karakteristika og prosesser som bidrar til et høyt NH₄-nivå i vannfasen vil måtte regnes å kunne bidra

til stimulert vekst av krypsiv. Nedbøren i Sørlandsregionen inneholder ca. 50/50 med NH_4 og NO_3 . Selv om det meste av ammoniumet tas opp eller transformeres til NO_3 i jordsmonnet, vil kombinasjonen av lav pH og NH_4 -tilførsel kunne være en viktig faktor. Økt nedbryting ved redusert forsuring kan frigjøre nitrogen, også i form av ammonium.

Det antas at krypsiv tar opp fosfor (P) både fra røtter og bladverk. Det er imidlertid vist at planten er svært lite næringskrevende og at stor biomasse kan bygges opp med lite P. Fosfor har derfor til nå ikke vært antatt å være begrensende faktor i forhold til problemvekst. Teoretisk kan en likevel tenke seg at en økt tilgjengelighet av P i kombinasjon med overskudd av andre mulige vekstbegrensende faktorer kan stimulere til ytterligere økt problemvekst. På den annen side kan økt P-tilførsel føre til redusert vekst av krypsiv fordi plantene blir dekket av påvekstalger som svekker lystilgangen. Dette er vist i helsjøforsøk med tilsetning av fosfor til en sur innsjø (NITRAP-prosjektet; Mjelde og Lindstrøm in prep.). Dette kan være en av årsakene til at vi finner mindre krypsiv i mer næringsrike vassdrag.

Kalking kan stimulere nedbrytingsprosesser i sedimentet og på den måten gi økt næringstilgang (N og P) i sediment og bunnvann i innsjøer.

Viktige variable og parametre kan være:

- CO_2 , ionestyrke, Ca, pH, TOC (generell vannkvalitet)
- NH_4 -nivåer i innsjøer og elver
- Tot P og PO_4 i innsjøer og elver
- pH, SO_4 , ANC, Ca (forsuring/kalking)
- karakterisering i kalket/ikke kalket; forsuret/ikke forsuret

4.2.5 Topografi

Topografiske forhold avgjør ofte hvilken kraft vannet har der krypsiv vokser. Det vil være stor forskjell på om en elv renner som flod (bredt tverrprofil/liten helling) eller i stri strøm (smal tverrprofil/kraftig helling).

Krypsiv liker seg meget godt i svakt strømmende vann (< 10 cm/s), men vokser også godt i "stillestående" innsjøer og i elver med strømhastigheter opp mot 50 cm/s. Grunnen til at planten foretrekker svak strøm kan være at det bedrer vannutskiftingen rundt planten og dermed letter CO_2 -opptak og næringsopptak generelt. Strømhastighet i seg selv er vanskelig å uttrykke på en enkel måte hvis en skal karakterisere en elvelokalitet fordi hydrologiske og klimatiske forhold varierer over året. Økt avrenning vil påvirke oppholdstid og strømningsmønster i både innsjøer og elver. Det kan derfor være bedre å karakterisere voksestedet med hensyn på strømforhold enn å legge konkrete målinger til grunn.

Substratet er grunnleggende for hvor krypsiv kan etablere seg og vokse. Substratet bestemmes blant annet av vannstrømmen. Stri strøm gir grovt substrat. Røttene må ha feste i substrat som sand/grus eller finere (mudderbunn). I elver har en også sett at krypsivplanter kan etablere seg og vokse på tepper av levermoser som da oftest har fanget opp akkumulert finmateriale over tid. Der krypsiv har etablert seg har det ofte vist seg at den kan modifisere substratet på voksestedet ved at den filtrerer og sørger for sedimentasjon av organisk materiale, spesielt i innsjøer og stilleflytende partier i elver. I elveavsnitt med noe mer strøm kan planten bygge opp sanddyner på samme måten.

Direkte påvirkning av kalkpartikler i det øverste sedimentsjiktet kan skje ved at uoppløste kalkpartikler synker ned i littoralsonen i innsjøer. En kan regne med at 30-80 % av kalken løses momentant i innsjøer. Økt mineralisering av akkumulert organisk stoff på sedimentet kan skje ved mindre forsuring eller ved kalking. Substratendring kan dermed bli resultatet.

Viktige variable og parametre kan være:

- voksestedkarakteristika, f.eks. kornsammensetning i substrat og hellingsgrad
- sedimentkomposisjon (forholdet organisk/uorganisk)
- kalkingsstrategi (direkte eller via elv; kalkdose til sediment)
- sedimentkjemi, porevannskjemi

I **Tabell 1** har vi oppsummert denne gjennomgangen. Noen av variablene/parametrene i **Tabell 1** er lett tilgjengelige fordi de er hentet inn i andre prosjekter og/eller lett kan beregnes. Andre datasett kan være vanskeligere tilgjengelig fordi de f.eks. kan finnes i papirprotokoller hos regulantene og må legges inn i database før bruk. NAOI kan lastes ned fra internett, mens atter andre finnes på elektronisk form hos DNMI, NVE eller regulant.

Tabell 1. Variable og parametre (indikatorer) som kan karakterisere de ulike påvirkningsfaktorer som medfører eller kan tenkes å medføre problemvekst av krypsiv.

Påvirkningsfaktor	Variabel/parameter (indikator)
Metereologi og lys	<input type="checkbox"/> årsmiddeltemperatur i luft <input type="checkbox"/> middeltemp i luft for vinterperioden (des-mars) <input type="checkbox"/> middeltemp i luft for sommerperioden (vekstsesongen) <input type="checkbox"/> årsnedbør <input type="checkbox"/> nedbør i vinterperioden <input type="checkbox"/> nedbør i sommerperioden <input type="checkbox"/> snødekke <input type="checkbox"/> klimaindeks (North Atlantic Oscillation Index) <input type="checkbox"/> lengden av isperioden på innsjøer og elver <input type="checkbox"/> innstrålingsdata
Hydrologi	<input type="checkbox"/> årsmiddeltemperatur i vann <input type="checkbox"/> middeltemp i vann for vinterperioden (des-mars) <input type="checkbox"/> middeltemp i vann for sommerperioden (vekstsesongen) <input type="checkbox"/> døgngradsummer for perioder av året i forhold til vekstsesongen <input type="checkbox"/> årsavrenning <input type="checkbox"/> vinteravrenning <input type="checkbox"/> sommeravrenning
Kraftregulering	<input type="checkbox"/> vannføringsdata for elveavsnitt i regulerte og uregulerte elver <input type="checkbox"/> flomfrekvens, utjevning av vannføring <input type="checkbox"/> kjøremønster for kraftverk (jevnlast, ukependling, døgnregulering, effektkjøring)
Vannkjemi/sedimentkjemi	<input type="checkbox"/> CO ₂ , ionestyrke, Ca, pH, TOC (generell vannkvalitet) <input type="checkbox"/> NH ₄ -nivåer i innsjøer og elver <input type="checkbox"/> Tot P og PO ₄ i innsjøer og elver <input type="checkbox"/> pH, SO ₄ , ANC, Ca (forsuring/kalking) <input type="checkbox"/> karakterisering (kalket/ikke kalket; forsuret/ikke forsuret)
Topografi/substrat	<input type="checkbox"/> kornsammensetning i substrat <input type="checkbox"/> hellingsgrad <input type="checkbox"/> sedimentkomposisjon (forholdet organisk/uorganisk) <input type="checkbox"/> kalkingsstrategi (direkte eller via elv; kalkdose til sediment) <input type="checkbox"/> sedimentkjemi, porevannskjemi

Databehovet er trolig ulikt for hver enkelt påvirkningsfaktor. For eksempel vil en direkte sammenlikning av problemvekst i utvalg av kalkede og ukalkede (bare forsured) innsjøer kunne gi svar på om kalking kan gi et tilleggsproblem. Om vi skal finne ut om forsuring i seg selv kan utløse problemvekst, trenger vi et regionalt materiale som også inkluderer mindre forsured lokaliteter. Klimavariasjoner skjer over lang tid og vil kreve en viss tidsserie for krypsivmålinger eller eksperimentelt arbeid med manipulering av klimavariabel. På basis av gjennomgangen i neste kapittel vil vi peke på databehov og komme med forslag til hvordan dette kan sikres.

Det vises til analysene av krypsiv i Tovdalselva og Mandalselva (kapittel 7 og 8) for en nærmere konkretisering av hvordan analyser basert på slike faktorer kan gjennomføres.

5. Eksisterende data

Historisk sett er det Bjørn Rørslett i perioden 1970-1996 og Tor Erik Brandrud i perioden 1988-1999 som har jobbet mest med krypsiv og vært prosjektledere for de største prosjektene på dette temaet i Norge. Da Brandrud sluttet ved NIVA i 1999 tok Marit Mjelde og Stein W. Johansen over arbeidet med krypsiv; Mjelde vesentlig gjennom innsjøundersøkelser og Johansen vesentlig gjennom elveundersøkelser i forbindelse med DN's kalkingsovervåkning. Ingen av de nevnte personer kan sies å ha en samlet oversikt over/tilgang på NIVAs totale krypsivmateriale (både eget innsamlet og andres materiale) på en form som gir grunnlag for en samlet databearbeiding.

I grove trekk finnes følgende materiale:

- Artslister inklusiv krypsiv for både innsjøer og elver finnes i rapporter og i noen tilfeller elektronisk som Word og Excel filer. Lokaliteter mangler ofte stedfesting i UTM.
- Kvantitative mål som dekningsgrad, lengde av årsskudd m.m. finnes for flere lokaliteter, men er oftest framstilt i figurer uten at primærtabeller foreligger.
- Kartskisser av krypsivutbredelse på enkelte områder med variabel mulighet for overføring til tall.
- Innsjødatabase som trenger oppdatering.

Under følger en temmelig fullstendig oversikt over undersøkelser hvor krypsiv inngår som et viktig element.

5.1 Krypsiv innsjøer

5.1.1 Regionale innsjøundersøkelser

1991: 8 innsjøer i AA(6) og VA(2) (reundersøkelse) (Brandrud og Mjelde 1993).
1992-1993: 25 innsjøer i Sokndal-Dalane-området i Rogaland (DN 1994).
1993: 9 innsjøer i en regional metodestudie. (NIVA upubl.).
1993-1994: 12 innsjøer i Gjerstadvassdraget (DN 1995).
1994: 25 innsjøer undersøkt i Lyngdal-Kvinesdal området i Vest-Agder i 1994 (DN 1995).
1994: 47 lokaliteter (31 innsjølok. og 16 elvelok.) i Bjerkreimsvassdraget (NIVA upubl.).
1995: 4 av 100-sjøene i sur nedbør overvåkingen undersøkt i november (NIVA upubl.).
1995: 8 kalkede og 5 ikke kalkede innsjøer i Sogn og Fjordane (Hobæk m.fl. 1996).
1995-1996: 17 innsjøer i Tovdalsvassdraget (Ogge-Mosfjell-Herefossområdet) (DN 1999).
1996: 2 innsjøer i Arendalsvassdraget (DN 1997).
1996: 2 innsjøer i Hordaland (Brandrud 1999).
1997-1998: 5 innsjøer i Tovdalsvassdraget (DN 2000a).

1998: 19 lokaliteter i den store innsjøen Vegår i Vegårdvassdraget (Svalheim m.fl. 2000).

2000: 8 innsjøer i Sogn og Fjordane (Åtland m.fl. 2001).

Kommentarer:

- Materialet var ikke samlet i en database
- Innsjøundersøkelsene er en blanding av enkeltlokaliteter i en innsjø og undersøkelse av hele innsjøen med båt. Det er trolig flest av den første typen
- I alle undersøkelsene er det artslistet hvor forekomst av krypsiv (og andre vannplanter) er angitt etter en 5-delt skala hvor: 1= sjelden (< 5 forekomster), 2= spredt, 3= vanlig, 4= lokalt dominerende, 5= dominerende på store deler av lokaliteten
- Det var generelt sparsomt med omkringdata til innsjøene (stedfesting, størrelse og vannkvalitet). I mange tilfeller er det oppgitt om innsjøen er kalket, kalkpåvirket eller ikke kalket uten at dette er dokumentert med tall
- Noen innsjøer er undersøkt flere ganger og det kan finnes upubliserte data (feltnotater) fra første halvdel av 90-tallet

5.1.2 Sedimentkjemi-vannkvalitet i forhold til krypsivvekst

1993-1994: 11 innsjøer i Sokndal-Dalane området (Roelofs et.al. 1994; 1995).

1995: 12 innsjøer i Sokndal-Dalane området og 12 innsjøer i området Herefoss-Grimstad (Lucassen et.al. 1996).

1997: Undersøkelse av porevannskjemi i Finnslandsvann og Mårvann i Tovdalsvaddraget (NIVA upubl.).

1994-1998: vekstforsøk med krypsiv i pottar i 3 innsjøer i Sokndal (DN 2000b).

Kommentarer:

- Undersøkelsene på porevannskjemi og vannkvalitet er utført av gruppen til Jan Roelofs Nederland
- Primærdata finnes i publikasjonene på en rekke parametre inklusive CO₂ og NH₄ både i sediment og vannfase
- For 1995-undersøkelsen er det flere prøver over året i perioden april-november
- Det er trukket konklusjoner om vekstforhold for krypsiv (kalket sediment, reforsuring av kalket vannfase) basert på undersøkelsene i 1993-1995
- Dataene fra Finnslandsvann og Mårvann i Tovdalsvassdraget og de 3 innsjøene i Sokndal er ikke sammenlignet med de andre undersøkelsene

5.1.3 Tidsserier for vekstmålinger

Selura: 1991-1997 (Brandrud og Johansen 1999).

Tovdalsvassdraget 1995-2001: Herefossfjorden, Finnslandsvatn, Mårvatn (DN 2001).

Kommentarer:

- Vekstmålinger av årsskudd er basert på innsamling av de subjektivt antatt 10 lengste årsskudd i en bestand som måles til nærmeste cm. Årsveksten oppgis som middelerverdi av disse skuddene.
- Det er noe usikkert når på året årsskuddene er maks utvokst, dvs. hvor lang er sesongen for strekningsvekst mot overflaten. Det er antatt at det meste av denne veksten skjer på våren og forsommeren og at det ikke skjer så mye etter august-september da de fleste årsskudd er samlet inn.
- Det har til nå vært lite kobling mellom klima-data, hydrologi og vannkvalitet i lokaliteter hvor det finnes vekstmålinger av årsskudd.

5.1.4 Tidsserier med forekomst/utbredelse

Forskrevvassdrag Vikedalsvassdraget RØYRAVATN 1993-2002 (NIVA upubl.).

NITRAP Lundetjenn i Grimstad kommune Aust-Agder 1998-2001 (Mjelde og Lindstrøm, in prep).

Utviklingen i en del innsjøer i Otravassdraget (1950-1993) (Rørslett 1994).

Kommentarer:

- Røyrvatn ble brukt som forsøkslokalitet i 1993 mhp. algevekst. Det ble registrert store mengder krypsiv i littoralsonen og i overflaten. Senere har det vært gjort årlige registreringer på en lokalitet i perioden 1996-2002 (med unntak av 2000). Det eksisterer bildemateriale fra littoralsonen for denne perioden (ikke analysert). Innsjøen ble undersøkt med båt i 2001 mhp. utbredelse av vannvegetasjon inkl. krypsiv.
- Røyrvatn er blant 1000-sjøene fra 1986 og er senere fulgt opp som en av 100-sjøene. Det har også vært gjort intensiv-undersøkelser av vannkvaliteten ut og inn av vannet i 1999 (bl.a. NH₄). Data fra kartleggingen foreligger som skisser av forekomst av tette bestander. Tidsutvikling i vannkvalitet i denne innsjøen vil kunne være et eksempel på en vannkvalitet som har underholdt god krypsiv-vekst i hele perioden 1993-2002.
- NITRAP-Lundetjenn. Her er det dokumentert tilbakegang av krypsiv i form av redusert vitalitet og arealutbredelse (antakelig pga påvekstalger) i en innsjø som ble moderat gjødslet med fosfat. Gode tidsserier på en rekke vannkvalitetsparametre både i referanseinnsjø og forsøkslokaliteten. Kan ligge noe informasjon i prosessstudier i littoralsonen.
- Utvikling i Venneslafjorden, Kilefjorden, Åraksfjorden, Hartevatn, Breivevatn, Sæsvatn-Breidvatn fram til 1993 er omtalt, men det er lite tallmateriale på krypsiv. Også beskrivelse av krypsiv-status i andre innsjøer (Brøbørvatn og Heilandsvatn i Gjerstadvassdraget, Oggevatn og Herefossfjorden i Tovdalsvassdraget, Grasvatn og Grastjern ved Kristiansand og Åbærtjern og Blanktjern i Tistedal). Går inn på faktorer som vannstandsvariasjoner, lysforhold og vannkjemi.

5.1.5 Regionalt makrofyttmateriale

I NIVAs database for makrovegetasjon i innsjøer er det lagt inn data for forekomst av bl.a. krypsiv og annen vegetasjon i om lag 412 innsjøer (5-delt skala). Av disse er det forekomst av krypsiv i 175, dvs 42,5 %. I tillegg kommer ca. 150 stasjoner hvor data er under bearbeiding med stedfesting og artskontroll/registrering. Noe av materialet fra innsjøene i sørlandsregionen fra begynnelsen av 90-tallet kan være lagt inn her, men er trolig ikke fullstendig oppdatert pr. i dag. 240 av stasjonene har kobling til kjemi-data i andre databaser ved NIVA.

5.2 Krypsiv elver

En samlet oversikt over forekomst av krypsiv i elver er gitt i Johansen m. fl. (2000). Nedenfor er gjort et utvalg av de viktigste undersøkelsene hvor en regner å kunne finne data til videre bearbeiding i forhold til problemvekst av krypsiv og årsaksforhold. For å få en regional oversikt over krypsiv-materialet arbeides det med å samle grunnlagsdata i en database.

Oversikten under er ordnet etter elv og ikke etter tema.

5.2.1 Otra

Utbredelse i Venneslafjorden 1986 (Rørslett 1986).

Utbredelse i Straumefjorden nedstrøms Brokke Kr.st. 1986 (Rørslett 1987).

Utbredelse i terskelbassenger Bjørnarå-Brokke Kr.st. 1989 (Rørslett m.fl. 1990).

Utbredelse i tiltaksområder 1991-1996 (Harstad-bassenget og Straumefjorden) (Rørslett 1991; 1997).

Utbredelse nedstrøms Venneslafjorden 1995 (Kaste m.fl. 1996).

Utbredelse i terskelbassenger nedstrøms Tjurrmo dam 1999 og 2001 (Gravem 2000; 2002).

Kommentarer:

- Første vassdrag med dokumentert problemvekst av krypsiv
- Tidsutvikling analysert på større områder basert på flybilder:
 - Venneslafjorden: 1969, 1977, 1983, 1986
 - Straumefjorden: 1959, 1962, 1970, 1981, 1986
 - Terskelbassenger: 1959, 1962, 1965, 1975, 1988, 1989
 - Tiltaksområder: 1988, 1991, 1992, 1995
- Flybildene har vært av varierende kvalitet og det er en relativt grov tidsoppløsning mhp. årstall.
- Resultatene fra flybildetolkingene foreligger dels som utbredelseskart, sammenlignbare bilder og noen få tabeller med tall for % dekning.
- Nedstrøms Venneslafjorden: 9 lokaliteter hvor forekomst av krypsiv er angitt etter femdelt skala.
- Terskelbassenger nedstrøms Tjurrmo dam: For begge år foreligger kart med forekomst av krypsiv delt inn i 5 kategorier: uten krypsiv, enkeltstående små rosetter, enkeltstående små rosetter/spredte tuer, spredte tuer og rosetter, tette bestander.
- Krypsiv-undersøkelsene i terskelbassengene i 1988-1989 danner grunnlaget for senere bruk av årsskudd som vekst-parameter.

5.2.2 Mandalselva

Utbredelse kartlagt i hele vassdraget 1993 (Johansen 1993).

Utbredelse etter rensketiltak i Sveindal-området 1996-2000 (Johansen m.fl. 2000).

Kommentarer:

- Data fra kartleggingen foreligger som skisser av forekomst av tette bestander i enkelte elveavsnitt + krypsivforekomst etter 5-delt skala på 44 lokaliteter.
- Rensketiltak: data foreligger som % dekning av krypsiv på 3 renskede arealer i perioden 1996-2000(2001). Lengdevest av årsskudd finnes for de samme lokaliteter.

5.2.3 Suldalslågen

Utbredelse kartlagt i hele elva i 1997 (Johansen 1997).

Kommentarer:

- Data fra kartleggingen foreligger som enkle skisser av forekomst av tette bestander og spredte tuer og rosetter på kartutsnitt.
- Tidsutvikling for perioden 1988-1997 (før kalking) på 12 lokaliteter er presentert. Data basert på bildemateriale analysert på dekningsgrad og forekomst/fravær av krypsiv.
- Det er ikke problemvekst i Suldalslågen. Materialet kan kanskje brukes som referansedata på en type regulering og vannkvalitet som ikke gir problemvekst.
- Videre tidsutvikling 1998 – 2001 er presentert i forbindelse med kalkingsovervåkingen.

5.2.4 Kvina

Utbredelse i 3 terskelbasseng i 1999 (Ousdal 2000).

Kommentarer:

- Data foreligger som kart med skisser av forekomst av krypsiv og annen vegetasjon.

5.2.5 Elver i DN's kalkingsovervåking

Nidelva (Arendalsvassdraget) 1996-1999

Tovdalselva 1995-2001

Mandalselva 1996-2002

Audna 2000

Lygna 2001-2002

Kvina 2002

Bjerkreimsvassdraget 1996-1998, (1999-2000), 2001

Suldalslågen 1988-2002

Vikedalselva 1995-2002

Vossovassdraget 2002

Eksingedalsvassdraget 1996-1997, 1999

Yndesdalsvassdraget 2000-2001

Flekk-Guddal-vassdraget 1998, 2000

Kommentarer:

- Data fra disse undersøkelsene foreligger ikke samlet på et sted f.eks. i en database
- For alle elvene finnes det artslister fra flere lokaliteter hvor forekomst av krypsiv (og andre vannplanter) er angitt etter en 5-delt skala hvor: 1= sjelden (< 5 forekomster), 2= spredt, 3= vanlig, 4= lokalt dominerende, 5= dominerende på store deler av lokaliteten
- For Arendalselva, Tovdalselva, Mandalselva, Bjerkreimselva og Ekso finnes det tidsserier med vekstmålinger av årsskudd på flere lokaliteter. For noen andre vassdrag finnes enkelte observasjoner fra et år.
- For Tovdalselva, Mandalselva, Bjerkreimselva, Suldalslågen og Vikedalselva finnes det tidsserier med undervannsfoto fra flere lokaliteter; både analysert og ikke analysert materiale. På bildematerialet er skåret % dekning og forekomst/fravær av krypsiv.

6. Vurdering av data for statistisk analyse

Kravene til datastruktur for videre bearbeiding med multivariate statistiske metoder er forholdsvis stor. Det har vært utgangspunktet for den foreliggende vurderingen.

Generelt er det vanskelig å ta stilling til en del av datamaterialet fordi det ikke foreligger i et mer systematisert og maskinlesbart format. Det er kun mer eller mindre komplette datasett med tallrekker av krypsivdata som lar seg bearbeide på denne måten. Nedenfor er det gitt en oppsummering med basis i den oversikten som er gitt i forrige kapittel og de krav vi stiller for videre analyse.

6.1 Krypsiv i innsjøer

• Regionale innsjøundersøkelser; forekomst av krypsiv

Dette materialet er ikke samlet i en database og kan følgelig ikke bearbeides for statistisk behandling. Det er usikkert hvor lang tid det vil ta og hvor mye omkringingdata som kan og må hentes inn og koples til hver innsjø.

NIVA har imidlertid sendt inn et forslag om reundersøkelse av ca 20 innsjøer på sørvestlandet som hadde problemvekst av krypsiv i perioden 1992-1994. Materialet fra de 20 innsjøene er et godt eksempel på basisdata som kan øke sterkt i verdi ved en tilsvarende undersøkelse 10 år etter.

- **Undersøkelser av sedimentkjemi og vannkvalitet i forhold til krypsivvekst**

Dette materiale ble ikke vurdert som egnet for videre statistisk bearbeiding. Det er likevel data her som kan brukes som bakgrunn for eventuelle nye undersøkelser.

- **Tidsserier med vekstmålinger av årsskudd i innsjøer**

Dette materialet er samlet, tilrettelagt for statistisk bearbeiding og analysert sammen med tilsvarende serier for elvelokaliteter. Det er signifikante forskjeller mellom lengdeveksten i innsjøer, sakteflytende elvelokaliteter og mer hurtigstrømmende elvelokaliteter. Det ble ikke funnet signifikante trender, dvs. utvikling over tid i materialet. Enkelte stasjoner viser tendenser til år til år variasjon i lengdevekst, men disse er sjelden signifikante. Det vil si at variasjonen i materialet er så stor at eventuell variasjon mellom år ikke kommer klart nok fram. Derfor er det lite trolig at en, basert på dette materialet, kan finne gode relasjoner mellom årsvekst og år til år variasjon i klimatiske og vannkjemiske forhold, med mulig unntak av noen få lokaliteter.

Materialet kan vurderes som noe tynt og subjektivt på måten det er innsamlet. Av den grunn har det også begrenset verdi i en statistisk analyse og kan ikke trekkes for langt. Det anbefales likevel å gå nærmere inn på deler av materialet der det er signifikante forskjeller i årsvekst og hvor det eksisterer gode bakgrunnsdata på vannkvalitet og klimarelaterte faktorer.

- **Tidsserier med forekomst/utbredelse av krypsiv**

Dette materialet ble ikke vurdert å egne seg for statistisk analyse, men kan være et nyttig bakgrunnsmateriale for videre arbeid med årsaksforhold.

Spesielt synes imidlertid et materialet samlet inn i NITRAP-prosjektet å kunne inneholde en del informasjon om vannkvalitetsforhold og krypsivvekst.

- **Regionalt materiale fra NIVAs makrofytt-database**

Her ligger det klart en del velgnet materiale og noe ble også brukt i tålegrenserapporten i 1992. Det har imidlertid kommet til en god del innsjøundersøkelser etter dette, spesielt på Sørlandet. En ajourføring av denne basen må sees i sammenheng med første punkt ovenfor (regionale innsjøundersøkelser). Dette arbeidet pågår, er ikke eksternt finansiert og skal være ferdig i løpet av 2003. En ajourført innsjødatabase vil klart kunne egne seg for videre statistisk bearbeiding av krypsivdata.

6.2 Krypsiv i elver

Materialet fra kalkingsovervåkingen og diverse tidsserier med bildedata fra elvelokaliteter er mest interessant for videre bearbeiding. Data fra kalkingsovervåkingen med artslistene av karplanter inklusive krypsiv på en rekke lokaliteter finnes, men er ikke samlet slik at en statistisk analyse er mulig. Tilrettelegging av disse data pågår.

Bildemateriale fra elvelokaliteter i vassdragene Tovdalselva, Mandalselva, Bjerkreimselva, Suldalslågen og Vikedalselva er samlet og tilrettelagt for statistisk bearbeiding. Tidsserier fra to stasjoner er analysert og det ble funnet signifikante trender for begge. Materialet blir vurdert som meget interessant og er tenkt brukt i et eget prosjekt under NVEs program om miljøbasert vannføring. Prosjektet går ut på å undersøke betydningen av redusert vannføring for krypsivvekst i forhold til andre miljøfaktorer som klima og vannkvalitet.

7. Ordinasjonsanalyse (CCA) for Tovdal- og Mandalsvassdraget

7.1 Metoden

Samvariasjon mellom forekomst av arter kan illustreres med et ordinasjonsdiagram, hvor både arter og lokaliteter er plassert inn i et felles aksesystem. Arter som ofte forekommer sammen vil også befinne seg nær hverandre i diagrammet. Tilsvarende vil gjelde for lokaliteter som har felles artsinventar. Plasseringen til den enkelte lokalitet er gitt ved posisjoner i forhold til de enkelte ordinasjonsaksene. Disse posisjonsverdiene er beregnet som veide summer av alle artsforekomstene på lokaliteten. Det er disse vektene som bestemmer den enkelte arts posisjon i ordinasjonsdiagrammet. Hvordan man kommer fram til vektene for de enkelte artene vil avhenge av hvilken ordinasjonsmetode man velger å bruke.

I dette arbeidet har vi brukt en ordinasjonsmetode som kalles kanonisk korrespondansanalyse (CCA). Her brukes både data på artsforekomst og miljøforhold, og vektene for de enkelte artene beregnes slik at ordinasjonsaksene er best mulig korrelert med miljøvariablene. En kan da vise samvariasjonene mellom miljøvariable og ordinasjonsakser som vektorer i det samme ordinasjonsdiagrammet (et slikt diagram kalles gjerne et "triplot"). Betydningen av en miljøvariabel vil avhenge av lengden på den tilhørende vektoren, mens retningen på vektoren viser hvilken ordinasjonsakse som påvirkes mest. Miljøvariabler som peker i samme retning vil være tett korrelert og dermed ofte være overflødige (redundante).

7.2 Materialet

Tovdals- og Mandalsvassdraget er begge store sørlandsvassdrag med nedbørfeltarealer på hhv. 1885 og 1809 km². Spesifikk avrenning er hhv. 34.5 og 47.6 L/s km², som vil si at Mandalsvassdraget er det mest vannrike av de to. Middelvannføringen er hhv. 65 og 85.5 m³/s. Mens Mandalsvassdraget er sterkt regulert, særlig i øvre del, er Tovdalsvassdraget kun regulert i Uldalsgreina, som også vil ha innvirkning fra Herefossfjorden og ned til sjøen.

I begge vassdrag gjennomføres vannkjemisk overvåking som del av statlig program for forurensningsovervåking (SFT 2002). Vassdragene er kalket fra oktober 1996 (Tovdalsvassdraget) og sommeren 1997 (Mandalsvassdraget), hovedsakelig basert på store kalkdoseringsanlegg, se DN's årsrapporter fra kalkingsvirksomheten (DN 2002). Vannkjemiske og biologiske data fra overvåkingen er brukt i analysen.

Siden kalkdoseringsanleggene er plassert relativt høyt oppe i vassdragene er de fleste vassdragsavsnitt påvirket av kalking. Hindar m.fl. (2000) har karakterisert vassdragene med hensyn på vannkjemi, spesielt aluminiumskjemi. Av viktige resultater kan nevnes den generelle reduksjonen i forsuringspåvirkning de siste 10 årene fram til 2000, kalkingeffekten (økt pH og kalsium, redusert aluminium), den dominerende sammenhengen mellom pH og labilt aluminium og at det er generelle gradienter i saltinnhold pga avstand til kysten. Det er også funnet signifikante forskjeller i vannkjemi mellom vassdragene som dels kan tilskrives større fortynning i Mandalsvassdraget (høyere spesifikk avrenning).

Den foreliggende analysen omfatter 270 observasjoner av undervannsvegetasjon på 84 stasjoner (hvorav 49 kun er besøkt en gang). For Mandalsvassdraget er registreringene gjort i 1993 og perioden 1996-2001, mens Tovdalsvassdraget har registreringer fra perioden 1995-2001. Dette medfører en overrepresentasjon av perioden med kalkpåvirkning og en tilsvarende sterk underrepresentasjon av

gode upåvirkede referanselokaliteter i begge vassdrag. Materialet omfatter både elve- og innsjøstasjoner i de to nedbørfeltene. Elvestasjonene er imidlertid sterkt overrepresentert i begge vassdrag og i Mandalsvassdraget er det kun få innsjøregistreringer fra 1993. I Tovdalsvassdraget er i tillegg de få innsjølokalitetene preget av større bestander av krypsiv. Med denne bakgrunn er det åpenbart at utvalget av lokaliteter i de to vassdrag ikke er spesielt designet for kun å avdekke årsaksfaktorer til problemvekst av krypsiv, men skal fange opp endringer i plantesamfunn og biologisk mangfold over tid. I alt 40 taxa av moser og karplanter er blitt registrert på en semi-kvantitativ skala (Hult-Sernander 1-5). I tillegg er forekomst av ferskvannssvamper (indet.) registrert på samme skala.

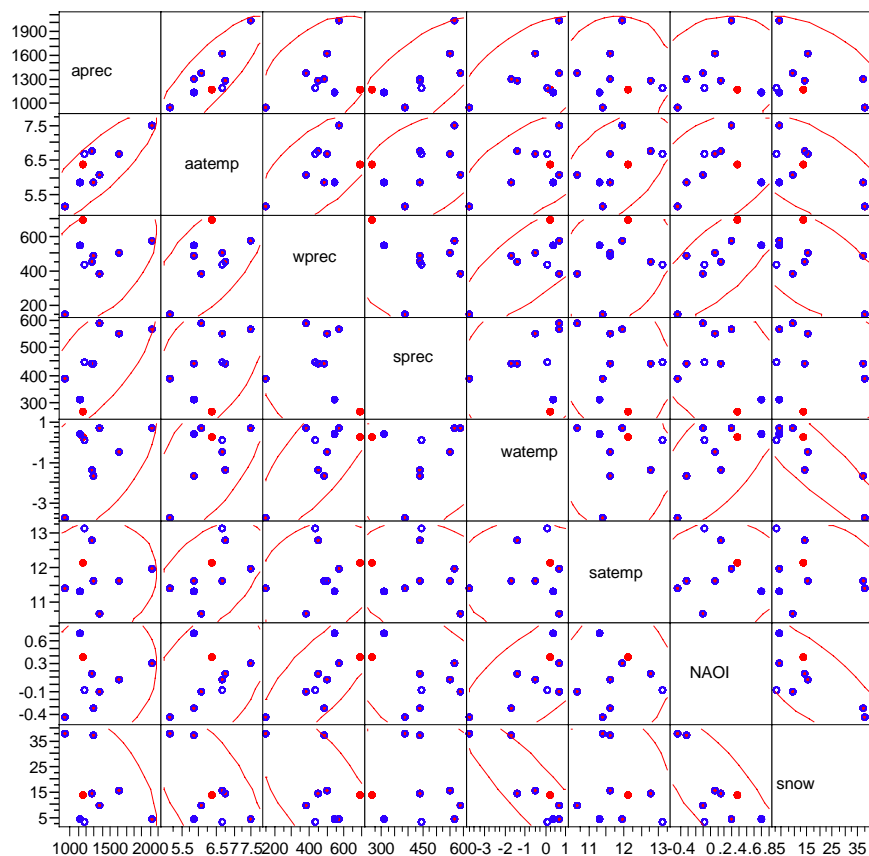
7.3 Resultater

7.3.1 Siling av miljøvariable

Miljøvariablene kan deles i fire grupper: meteorologiske, hydrologiske, kjemiske og topografiske. Før ordinasjonsanalysen kan gjennomføres har vi utfra et forholdsvis bredt variabelutvalg foretatt en innsnevring.

De meteorologiske variablene vil i hovedsak være felles for alle stasjoner og derfor i første rekke være viktige for å forklare systematiske år til år-variasjoner i vegetasjonssamfunnene. Til sammen 8 meteorologiske variable ble vurdert: nedbør (over året, samt oppdelt i sommer- og vinter nedbør), lufttemperatur (årsmiddel, samt oppdelt i sommer- og vintermiddeltemperatur), midlere snødekke og NAO vinterindeks. North Atlantic Oscillation (NAO) indeksen uttrykker den relative plasseringen av lavtrykksbanene i nord-Atlanteren ved hjelp av trykkforskjellene mellom Island og Azorene (Marshall m.fl. 2001). NAO vinterindeksen (desember-mars) vil i vest- og sør-Norge typisk skille mellom milde og våte vintre i forhold til kalde og tørre vintre.

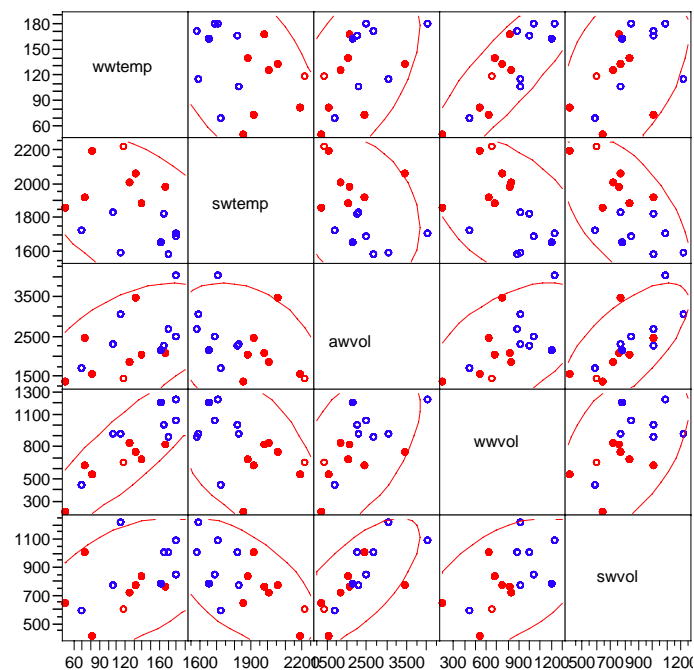
Figur 1 viser sammenhenger mellom de 8 meteorologivariablene. De høye korrelasjonene mellom NAO vinterindeks og vintermiddeltemperatur, vinter nedbør og snødekke ($r = 0.70, 0.77, -0.79$) viser at vinterværet i området er direkte påvirket av det nord-Atlantiske klimasystemet. På grunn av høyere korrelasjoner mellom disse kandidatvariablene har vi bare tatt med NAO vinterindeks (NAOI) blant miljøvariablene i ordinasjonsanalysen.



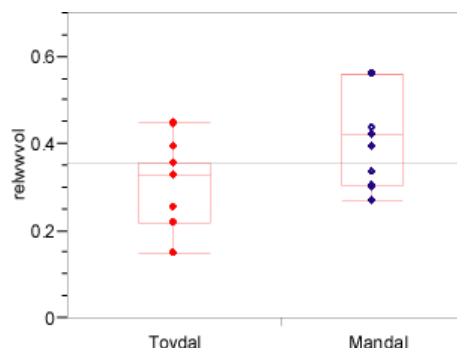
Figur 1. Scatterplot-matrise av meteorologiske variable for området (aprec = årsnedbør, aatemp = årsmiddeltemperatur, wprec = vinternedbør, sprec = sommernedbør, watemp = vintermiddeltemperatur, satemp = sommermiddeltemperatur, NAOI = NAO vinterindeks, snow = snødekke). Røde streker viser konfidensintervallene.

Blant hydrologivariablene vurderte vi 5 parametre relatert til vannmengde og –temperatur, for hele året eller oppdelt på sommer og vinter (**Figur 2**). Hydrologivariablene representeres av kun en stasjon per vassdrag, slik at de har høy oppløsning i tid men liten i rom. Disse variablene reflekterer først og fremst graden av regulering i de to vassdragene. Slik sett blir lufttemperaturen (årsmiddel, sommer, vinter) å oppfatte som en klimasignal mens vanntemperaturen i de samme periodene først og fremst blir en reguleringsindikator. Vi ser at vannmengde og –temperatur som forventet er positivt korrelert om vinteren ($r = 0.87$) og negativt korrelert om sommeren ($r = -0.58$). Videre er alle hydrologi-parametrene såvidt tett korrelert at vi lar dem kun være representert ved midlere vanntemperatur i sommerhalvåret (swtemp) blant miljøvariablene i ordinasjonsanalysen.

Endring i avrenningsmønsteret over året er en av de tydeligste effektene av vassdragsregulering. Vi har brukt forholdet mellom vinteravrenning og årsavrenning som indikator på dette (**Figur 3**). Som det framgår av figuren er det en tydelig forskjell i avrenningsmønsteret mellom de to vassdragene, som nok skyldes forskjellig grad av regulering.



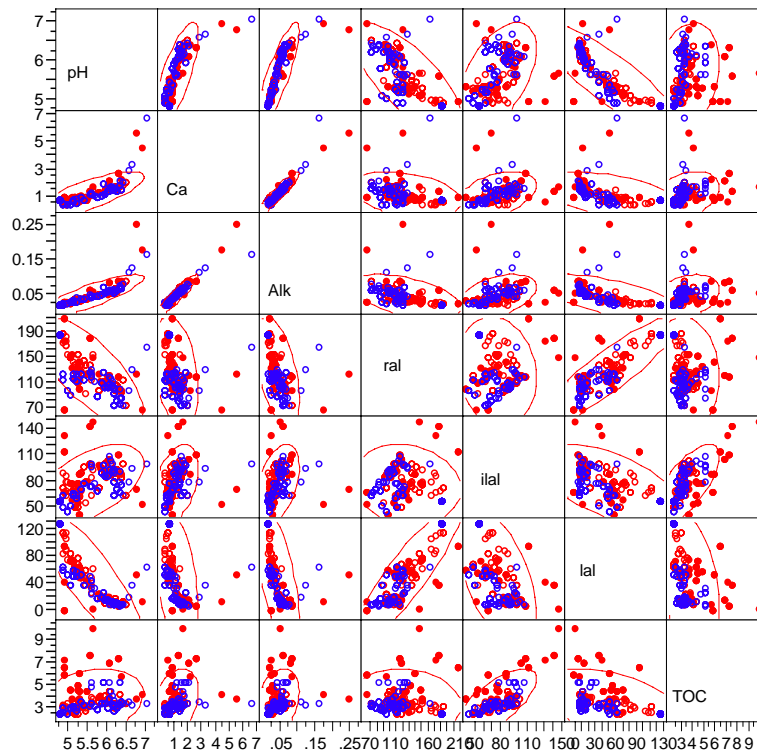
Figur 2. Scatterplot-matrise av hydrologiske variable for de forskjellige stasjonene (wwtemp = middeltemperatur vann vinter, swtemp = middeltemperatur vann sommer, awvol = årsavrenning, wwvol = vinteravrenning, swvol = sommeravrenning). Blå symboler: Mandalsvassdraget, røde symboler: Tovdalsvassdraget. Røde streker viser konfidensintervallene.



Figur 3. Sammenlikning av relativ vintervannmengde (relwwvol) mellom de to vassdragene. Blå symboler: Mandalsvassdraget, røde symboler: Tovdalsvassdraget). Forskjellen er statistisk signifikant (Wilcoxon rank-sum test, $n = 270$, $p < 0.0001$).

Det kjemiske miljøet er vanligvis ventet å ha stor innvirkning på utbredelsen av forskjellige planter og plantesamfunn. I det foreliggende materialet har vi vurdert sju kjemiparametre som er vanlig brukt i overvåking av forurengning og kalking (**Figur 4**). Som ventet er det tett korrelasjon mellom de tre parametrene som er direkte relatert til bikarbonatbuffersystemet (pH, Ca, alk). Selv om tilstand og tilgjengelighet av aluminium er vist å være kritisk for overlevelse av fisk i forurengede vassdrag er det mer tvilsomt om aluminium har like stor betydning for vekst og utbredelse av vannplanter. Siden de forskjellige aluminiumfraksjonene reaktivt Al (RAL), ikke-labilt Al (ILAl) og labilt Al (LAl) også er nært korrelert med pH og/eller TOC (se også Hindar m.fl. 2000) har vi valgt å se bort fra disse i valg av miljøvariable til korrespondansanalysen. Totalt organisk karbon (TOC) er vanligvis ikke særlig

nært korrelert til andre vannkjemiske parametre, som også i dette tilfellet. Ut fra dette endte vi opp med tre vannkjemiske miljøvariable til korrespondansanalysen: pH, Ca og TOC.



Figur 4. Scatterplot-matrise av kjemiske variable for de forskjellige stasjonene. Blå symboler: Mandalsvassdraget, røde symboler: Tovdalsvassdraget.

Den siste gruppen av miljøvariable, som vi for enkelhets skyld har kalt topografiske, er tenkt å dekke det lokale fysiske miljøet på den enkelte stasjonen. Her har vi prøvd å ta hensyn til stasjonenes innbyrdes plassering i elvestrengen ved å bruke høyde over havet (hoh) som en av miljøvariablene. Skjærkreftene i strømmende vann setter klare grenser for hvilke vokseformer som er mulige i et gitt hydrodynamisk miljø. For å karakterisere strømhastigheten på de enkelte stasjonene har vi bare hatt til rådighet en subjektiv 3-nivåskala (flow) som løper fra langsomtflytende (1) til hurtigstrømmende (3). I tillegg har vi brukt en binær variabel (islake) som indikerer hvorvidt en stasjon ligger i elv eller innsjø. Alle innsjøstasjonene er gitt verdi 0 på strømhastighetsskalaen.

7.3.2 Ordinasjonsanalyse

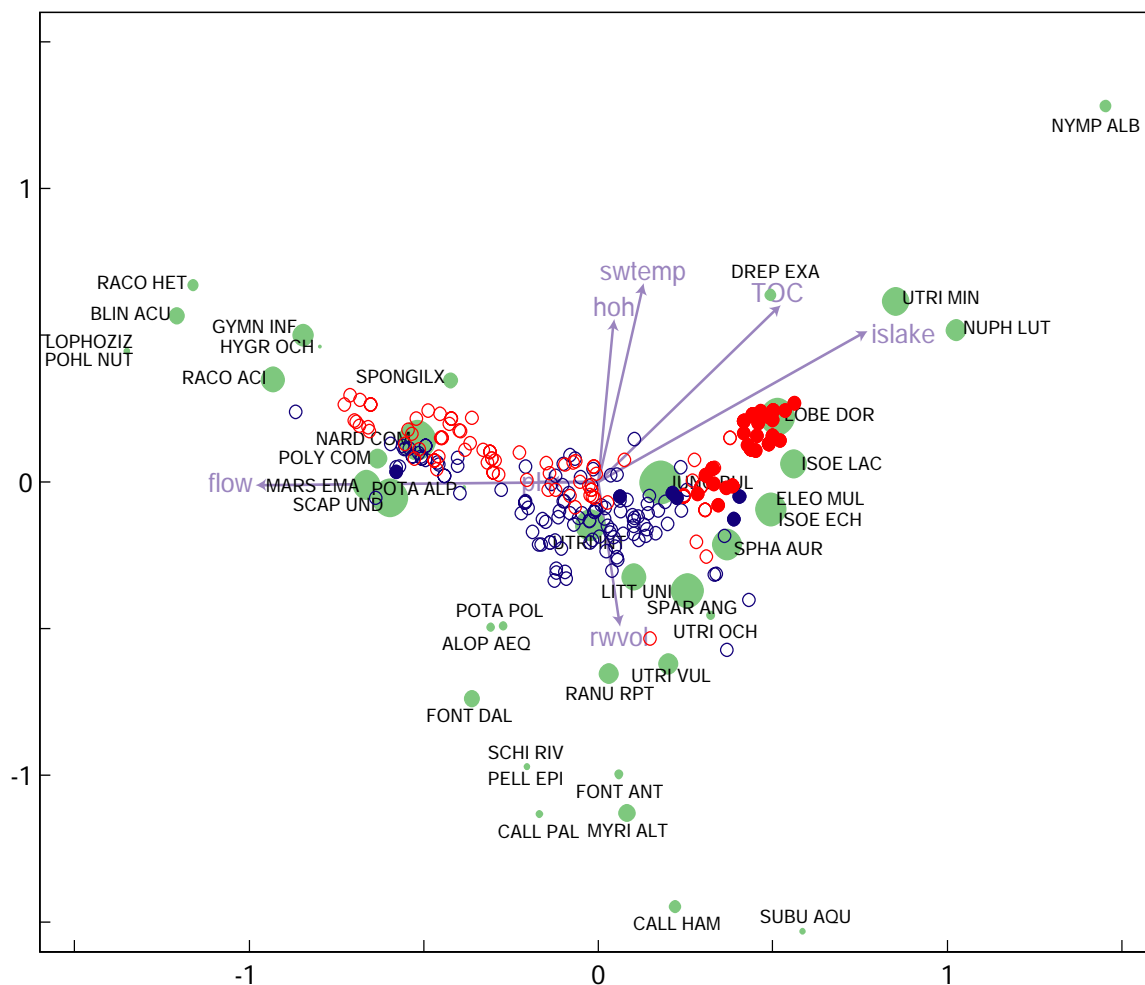
Til sammen gir dette i utgangspunktet 10 miljøvariable som brukes i ordinasjonsanalysen. For å teste hvorvidt de forskjellige miljøvariablene har statistisk signifikant betydning for plantesamfunnet, brukte vi såkalte permutasjonstester. Dette går i korthet ut på å gjøre et stort antall ordinasjonsanalyser (feks 1000) hvor datasettet for miljøvariablene omstokkes tilfeldig. Hvis mer enn 5% av disse analysene gir høyere forklaringsgrad enn analysen med det opprinnelige variabelsettet, betyr det at ordinasjonen ikke er signifikant på 5%-nivå. Testene utføres slik at miljøvariablene kan vurderes hver for seg. Resultatet av en slik testprosedyre kan altså bety en ytterligere innsnevring av antall miljøvariable før den egentlige ordinasjonsanalysen.

Som en første screening kan vi gjøre permutasjonstester med alle miljøvariablene på en gang. Dette viste at det er en klar statistisk sammenheng mellom plantesamfunn og miljøvariable (signifikans-

sannsynlighet $<0.25\%$ for alle de 4 første ordinasjonsaksene). Det neste screeningnivået er å se forklaringsevnen til hver miljøvariabel enkeltvis. Årsnedbøren (aprec) var den eneste variabelen som ikke hadde noen signifikant enkeltvis forklaringsgrad ($p = 8.25\%$), og som derfor ble kuttet ut i den videre analysen. I det siste screeningnivået ser vi på partielle effekter av hver enkelt variabel. Det vil si at vi ser på i hvilken grad en enkelt variabel forklarer noe som ingen av de andre er i stand til. Akkurat som i skrittvis multipl regresjon, vil rekkefølgen av variablene og strategien man velger (forover- eller bakoverseleksjon, osv) kunne ha stor betydning for hvilket resultat man ender opp med. Det er derfor grunn til å gå forsiktig fram. I første partielle screening fikk Ca den dårligste signifikanssannsynligheten ($p = 14.25\%$) og ble derfor ekskludert (sammen med aprec). I andre partielle screening (med aprec og Ca ekskludert) ble NAO vinterindeks ekskludert ($p = 99.25\%$). I tredje screeningrunde (med aprec, Ca og NAOI ekskludert) var alle de partielle effektene av de resterende miljøvariablene statistisk signifikante på 2%-nivå eller bedre. Disse sju variablene ble derfor brukt i den endelige ordinasjonsanalysen.

Tabell 2. Miljøvariable for ordinasjonsanalyse som resultat av innledende korrelasjonsanalyser (scatterplot-matrisene) og påfølgende permutasjonstester.

Alle vurderte miljøvariable (n=26)	etter innledende korrelasjonsanalyser (n=12)	etter permutasjonstester (n=9)
Meteorologi		
aprec = årsnedbør, aatemp = årsmiddeltemperatur, wprec = vinternedbør, sprec = sommernedbør, watemp = vintermiddel- temperatur, satemp = sommermiddel- temperatur, NAOI = NAO vinterindeks og snow = snødekke	aprec = årsnedbør, NAOI = NAO vinterindeks	
Hydrologi		
wwtemp = middeltemperatur i vann vinter, swtemp = middeltemperatur i vann sommer, awvol = årsavrenning, wwvol = vinteravrenning, swvol = sommeravrenning	swtemp = middeltemperatur i vann sommer	swtemp = middeltemperatur i vann sommer
Avrenningsmønster (regulering)		
relwvol = forholdet mellom vinteravrenning og årsavrenning	relwvol = forholdet mellom vinteravrenning og årsavrenning	relwvol = forholdet mellom vinteravrenning og årsavrenning
Vannkjemi		
pH, Ca, alk, RA1, ILA1, LA1, TOC	pH, Ca, TOC	pH, TOC
Topografi		
hoh = høyde over havet, flow = strømhastighet og islake = er innsjø	hoh = høyde over havet, flow = strømhastighet og islake = er innsjø	hoh = høyde over havet, flow = strømhastighet og islake = er innsjø



Figur 5. Ordinasionssdiagram for hele datamaterialet (elve- og innsjøstasjoner) i forhold til 7 miljøvariable (lys blå piler og tekst). Grønne sirkler er artsvekter, med sirkelareal i proporsjon til total forekomst av arten. Stasjonsscorene er vist som røde (Tovdal) og blå (Mandal) sirkler, som er fylte for innsjøstasjoner og åpne for elvestasjoner.

Ordinasjonen (**Figur 5**) separerer tydelig mellom de to vassdragene – dvs at det er en signifikant forskjell i vannplantесamfunnene i Mandal- og Tovdalsvassdragene. Videre skiller innsjøstasjonene seg ut med et annet artsinventar enn elvestasjonene. Den første ordinasjonsaksen (som inneholder den største varianskomponenten i materialet), forklares best av variable som beskriver det lokale fysiske miljøet – strømhastigheten (flow) og hvorvidt stasjonen er i en innsjø (islake). Tilsvarende ser vi at artene plasseres langs den første ordinasjonsaksen i forhold til deres evne til å tåle strømskjær. Lengst til venstre i diagrammet, tilsvarende de hurtigststrømmende stasjonene, finner vi stort sett moser. Beveger vi oss mot høyre blir innslaget av karplanter økende, med vokseformer typiske for stillestående vann (blærerot- og nøkkerosearter) lengst til høyre. Innsjøstasjonene plasseres uten unntak i denne delen av diagrammet. Jo nærmere origo en art plasseres, desto mindre kan forekomst av denne arten assosieres til en bestemt akse eller miljøfaktor. Nærmest origo finner vi krypsiv (gammel betegnelse: *Juncus bulbosus*, JUNC BUL) som også er den vanligste arten i hele materialet. Med andre ord: den problemarten som var utgangspunkt for undersøkelsen er dessverre også den som ordinasjonsanalysen kan si oss minst om.

Den andre ordinasjonsaksen forklares best med midlere sommervannntemperatur (swtemp), relativ vintervannføring (relwvol) og høyde over havet (hoh). Alle tre variablene er signifikant forskjellig mellom de to vassdragene, slik at det blir nærliggende å tolke andre ordinasjonsakse som kontrasten mellom Mandals- og Tovdalsvassdraget. Forskjellene i de to første variablene er nok relatert til graden av regulering: Mandalsvassdraget har gjennomgående lavere sommertemperaturer og høyere vintervannføring enn Tovdalsvassdraget. Det er imidlertid vanskelig å avgjøre hvorvidt det er regulering alene som er årsak til forskjellene mellom plantesamfunnene.

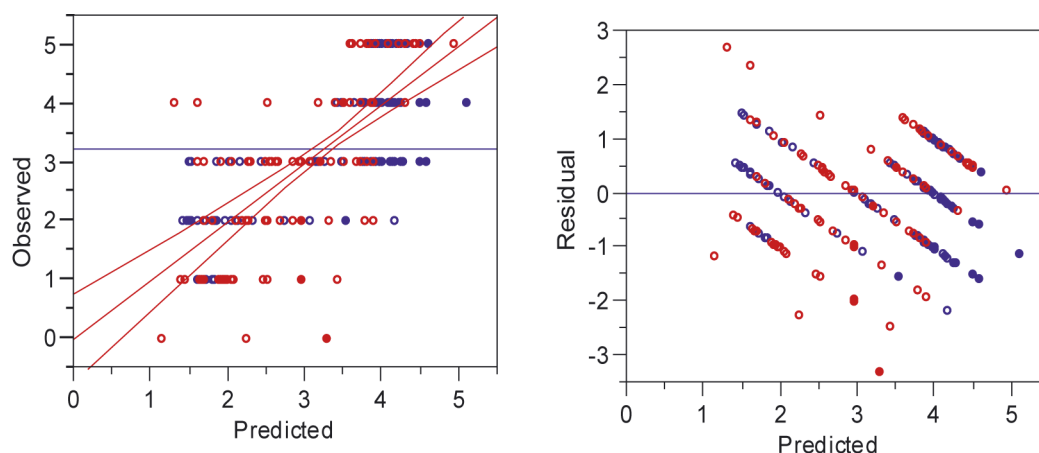
Ikke uventet er altså det fysiske strømningsmiljøet av stor betydning for utbredelsen av de forskjellige vannplantene. Videre er det en tydelig forskjell mellom plantesamfunnene i de to vassdragene, men det er usikkert i hvilken grad dette skyldes naturgitte forhold eller menneskelige inngrep (regulering). Sist, men ikke minst; denne analysen gir få indikasjoner på hvilke miljøfaktorer som styrer utbredelsen av krypsiv i disse vassdragene. For å kunne komme nærmere denne problemstillingen bør en gjøre tilsvarende analyser på et større materiale som også omfatter lokaliteter hvor krypsiv ikke i samme grad er dominerende. Det bør også legges større vekt på en mer presis kvantifisering av den miljøfaktoren som viser seg å ha størst betydning for vannplantesamfunnene, nemlig det fysiske strømningsmiljøet på den enkelte stasjonen.

8. Regresjonsanalyse av dekningsgrad av krypsiv i Tovdal- og Mandalsvassdraget

Analysen i forrige kapittel ga viktig informasjon om hvilke faktorer som er viktig for sammen-setningen av hele vegetasjonssamfunnet. Litt skuffende viste det seg derimot at denne analysen kunne si ganske lite om hvilke faktorer som styrer utbredelsen av krypsiv, noe som jo skulle være hovedhensikten med dette prosjektet. Grunnen til denne mangelen er nok først og fremst at krypsiv er et såvidt dominerende vegetasjonselement i hele distriktet at arten får svært liten indikatorverdi (dvs arten plasseres nær origo i ordinasjonsdiagrammet). Mer utsagnskraftige resultater ville muligens framkommet av den multivariate analysen hvis grunnlagsmaterialet hadde dekket en større plante-geografisk region. Krypsiv er som sagt en såvidt utbredt art i Sør-Norge at vannbruksproblemene heller knytter seg til mengden enn til selve tilstedeværelsen av krypsiv.

Det er derfor nærliggende å se nærmere på dekningsgraden av krypsiv i en univariat analyse. Vi har her valgt å se de 6 dekningsgradene i Hult-Sernanders skala som en kontinuerlig variabel, slik at multippel regresjonsanalyse blir et naturlig valg for å undersøke relasjonen mellom dekningsgrad av krypsiv og de 26 miljøvariablene som er beskrevet i **Tabell 2**. En skrittvis multippel regresjonsanalyse ender opp med en modell med 6 av de opprinnelige 26 variablene. Regresjonsmodellen er sterkt signifikant ($p < 0.0001$, $n = 269$) og forklarer ca. halvparten av den totale variansen i dekningsgrad av krypsiv ($r^2 = 0.53$), se **Figur 6**.

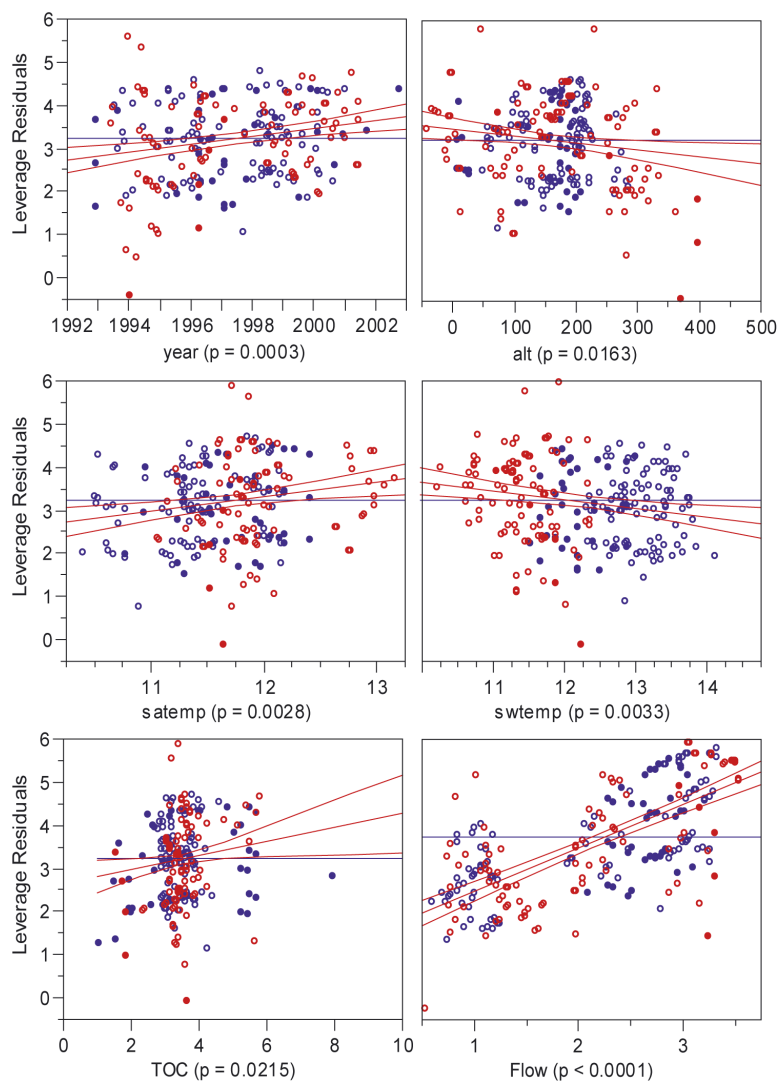
Residualer i denne analysen er den rest av variasjon i dekningsgrad som ikke er forklart av de seks variablene. I slike analyser er det et mål å få residualene så små som mulig. I dette tilfellet vil små residualer bety at mye av variasjonen i dekningsgrad kan forklares. Det er også et mål å unngå et mønster i residualene fordi det indikerer at det kan være ytterligere forhold som kan forklare variasjonen i dekningsgrad.



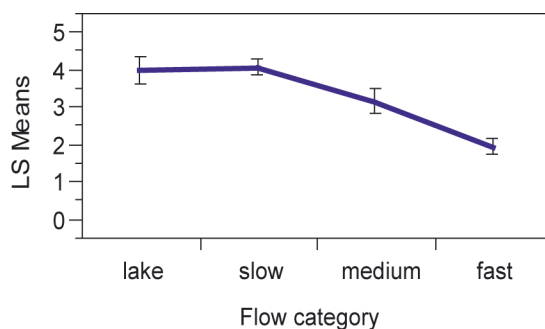
Figur 6. Multippel regresjon av krypsivdekning mot 6 miljøvariable ($r^2 = 0.53$, $n = 269$, $p < 0.0001$ - observert mot predikert (venstre), residualer mot predikert (høyre)). Symbolene røde sirkler for Tovdal og blå for Mandal, som er fylte for innsjøstasjoner og åpne for elvestasjoner.

Den skrittvis regresjonen ender opp med i grove trekk det samme settet av forklaringsvariable som i korrespondansanalysen i forrige kapittel. Det er kjent at skrittvis multippel regresjonsanalyse kan være svært følsom for tilfeldigheter når forklaringsvariablene er tett korrelert, som de praktisk talt alltid vil være i denne type analyser. Slik sett er det betryggende at vi endte opp med såvidt like sett av forklaringsvariable i de to analysene, selv om utvalgsmetoden og de statistiske prinsippene er til dels svært forskjellige. Strømhastighet (flow) er klart den viktigste faktoren både for å forklare samfunnsendringer i undervannsvegetasjon generelt og dekningsgrad av krypsiv spesielt. Bedømt etter partiell F-verdi i regresjonen, er tidstrend (year) den nest viktigste forklaringsvariablen. **Figur 7** viser at det, justert for andre faktorer, har vært en stigende trend i krypsivdekning den siste dekadene. Denne økningen kan altså ikke forklares direkte av noen av de andre forklaringsvariablene. De forskjellige rollene til lufttemperatur og vanntemperatur illustreres også i **Figur 7**. De to temperaturvariablene har omtrent samme partielle F-verdi, men med motsatt fortegn. Dette underbygger tolkningen om at sommermiddel av lufttemperatur (satemp) er et klimasignal med positiv effekt på utbredelsen av krypsiv (tilsvarende den negative effekten av høyde over havet (hoh)), mens tilsvarende for vanntemperatur (swtemp) er et vassdragskarakteristikum med negativ effekt på krypsiv.

For kategorivariable som strømhastighet (flow) kan en ikke direkte lese fortegnet på effekten ut fra stigningstallet til "leverage residual"-plottet som i **Figur 7**. Her er det lettere å anskueliggjøre effekten ved å se på "least square means," dvs middelverdien innen en kategori når en justerer for effekten av alle andre variable. **Figur 8** viser at en har praktisk talt samme dekning på innsjøstasjonene som på de mest sakteflytende elvestasjonene og at det er en fallende tendens med økende strømhastighet innen elvestasjonene. Dersom en definerer det å ha et krypsivproblem som at dekningsgraden av krypsiv er 4 eller høyere på Hult-Sernanders skala (dvs $> 25\%$), så synes grensen mellom problemvekst av krypsiv å gå ved middels strømhastighet (eller kanskje litt under). Mer presis er det vanskelig å være uten at det blir gjort en ekstra innsats for å karakterisere strømningsmiljøet på de forskjellige stasjonene.



Figur 7. Partielle effekter av 6 miljøvariable i multipl regressjonsmodell av krypsivdekning. Jo mer signifikant en forklaringsvariabel er, desto brattere stigningstall mellom "leverage residual" og forklaringsvariabel. Symbolene er røde sirkler for Tovdal og blå for Mandal, som er fylte for innsjøstasjoner og åpne for elvestasjoner.



Figur 8. Partielle effekter av de fire strømhastighetskategoriene i multipl regressjonsmodell av krypsivdekning, uttrykt som "least square means" med tilhørende standardavvik.

9. Anbefaling om videre studier

På basis av de mål man har for kunnskapsoppbygging innenfor krypsivproblematikken er det gjort en vurdering av hva en nå bør legge vekt på. Den kunnskap vi mener eksisterer og de datasett som er analysert og anbefalt for videre bearbeiding er en del av grunnlaget for dette.

Kartlegging av miljøvariable i problemvekstområder.

Det er mulig å finne ut mer om krypsiv og årsaker til problemvekst ved å gå nærmere inn på enkelte lokaliteter eller avgrensede elveavsnitt og detaljert kartlegge de fysiske forhold på stedet mhp. dyp, strømhastighet, substratsammensetning og vannkvalitet. Tilsvarende karakterisering kan gjøres på nært tilgrensende områder uten krypsiv for derved å kunne finne grenseverdier for ulike parametre som kan medføre problemvekst.

Uvalg av lokaliteter som bør undersøkes nærmere kan gjøres på bakgrunn av allerede velkjente problemvekstområder, eventuelt områder/lokaliteter innrapportert til krypsivprosjektet på Sørlandet via svar på f.eks. spørreundersøkelser.

Tovdalselva – større inventering av hele vassdraget

Dataanalysen i denne rapporten viser at det kan være vanskelig å finne gode forklaringer på krypsivvekst. Det har dels med valg av lokaliteter å gjøre, dels med for lite presis karakterisering av strømningsforhold å gjøre. Tovdalselva kan bli et enda mer interessant vassdrag mhp. krypsiv hvis det gjøres en fullstendig kartlegging av krypsiv. Det er hittil ikke gjort. Vassdraget inneholder de viktige elementene som regulert/uregulert og kalking/ikke kalking og er "nabovassdrag" til krypsivvassdragene Otra og Mandalselva. Stedvis er det påvist problemvekst i Tovdalselva, men bare en fullstendig kartlegging av utbredelse og omfang i hele vassdraget vil kunne knytte eventuell problemvekst opp mot årsaksfaktorer.

Vekst av krypsiv i elver og innsjøer.

Det er behov for mer grunnleggende data om vekst av krypsiv, både når det gjelder vekst av enkeltplanter (hva skal til for å danne årsskudd, når er årsskuddene maks utvokst), bestandsdynamikk (hvor gamle blir krypsivplanter som har begynt å danne årsskudd, hvor mange generasjoner årsskudd kan en plante gi opphav til osv.) og arealutbredelse (hastighet for nykolonisering og ekspansjonshastighet på nykoloniserte arealer). Dette kan gjøres ved å etablere større felter på minimum 100m² på et utvalg lokaliteter hvor krypsivplanter følges opp på individnivå, samtidig som miljøfaktorer måles grundig. Feltene følges over flere år.

Reanalyser

Reanalyser av krypsiv i områder hvor problemvekst er kartlagt eller beskrevet tidligere vil gi viktig informasjon om utvikling og kan kaste lys over dynamikken under og etter etablering av krypsiv. Et prosjekt i innsjøer i Rogaland med tidligere problemvekst er allerede foreslått på dette temaet.

Sammenliknende analyser

Gjennom flere år er det samlet vannkjemiske data i ca. 200 innsjøer gjennom overvåkingsprogrammet for forsuringseffekter. For disse innsjøene foreligger det også omkringdata, slik som hydrologisk data og nedbørfeltkarakteristika og arealbruk. Registrering av krypsiv i et utvalg av "200-sjøene" og sammenlikning med et tilfeldig utvalg av ikke sure innsjøer (kan koples til annet prosjekt) kan gi informasjon om forsuringseffekter på krypsiv. På samme måte kan dette utvalget koples til et tilfeldig utvalg av kalkede innsjøer i Agder for å analysere kalkingseffekter på krypsiv.

Tidsutvikling i krypsivbestander

Registrering av endring av utbredelse/dominans i kalkede innsjøer i f.eks. 5 år kan gjøres i samarbeid med Thore Tvetene på MS Kalkine. Overvåking av krypsiv over en lengere periode kan forbedre koplingen til klimavariasjon.

Eksperimentelt arbeid

Eksperimentell manipulering med surt/kalket vann og temperatur, evt. islegging og strømming på lab i flerkfaktoranalyse vil være en svært interessant tilnærming fordi enkeltfaktorer kan isoleres. Men et slikt prosjekt forutsetter større økonomiske rammer fordi det må bygges opp et egnet forsøksanlegg.

Eksperimentell fullkalking av utvalgte elvestrekninger med små eller store krypsivbestander kan kaste lys over evt. akutte eller noe mere langsiktige kalkingseffekter. Kortsiktige vil være relatert til pH-endringer, mens noe mer langsiktige vil være knyttet til partikkelsedimentasjon og endringer i CO₂ og NH₄⁺-konsentrasjoner i vann og sediment.

10. Konklusjoner

Konklusjoner basert på dette arbeidet er som følger:

- Det foreligger mye, men spredte data for krypsiv fra innsjøer og elver, vesentlig fra Agderfylkene. Nærmest alt materialet er samlet av NIVA.
- Selv om datamaterialet har vært egnet til å belyse konkrete problemstillinger, er ikke alt like godt egnet til videre statistiske analyser. Det skyldes først og fremst at kravene til datasett for slike analyser er strengt og at datamaterialet er spredt i tid og rom. Noe av årsaken er også at data på dette tidspunkt ikke var lagt inn i database med tilhørende stedfesting og omkringinginformasjon. Det var derfor vanskelig å ha full oversikt over materialet.
- Det er få datasett med tidsutvikling fra samme sted. Dette begrenser bruken av data mot endringer som går over lang tid og som eventuelt har stor årlig variasjon (forsuring, klimavariasjon).
- Innledende analyser fra Tovdal- og Mandalselva viser at analyser basert på funn/ikke funn av krypsiv gir liten informasjon om hvilke faktorer som påvirker krypsiv. Det skyldes at krypsiv er vidt utbredt og at planten er svært tolerant overfor variasjon i miljøet.
- Problemvekst kjennetegnes blant annet av høy dekningsgrad for krypsiv. Analysen av dekningsgrad viser at strømhastighet er viktigst for variasjon i dekningsgrad. Det er også funnet en uavhengig tidstrend som forklarer mye av variasjonen. Videre kan sommertemperatur (både i luft og vann), høyde over havet og organisk karbon i vannet forklare deler av variasjonen.
- Det er viktig at disse analysene ikke gis tolkninger utover de vi har gitt i denne rapporten. Det er fordi datamaterialet setter grenser for denne tolkningen og at disse grensene må vurderes av de som kjenner datamaterialet og har utført analysene.
- Datavurderingen og analysene gir grunnlag for å anbefale videre arbeid med å finne årsaker til problemvekst av krypsiv.
- Strømhastighet og forhold som endrer denne har allerede vært i fokus i og med at regulering er vist å være utløsende faktor for problemvekst. Vi mener at en bør finne en mer nyansert måte å karakterisere strømhastighet på. Det vil si at en både kan arbeide mer med innsamlede data og at en bør kunne inkludere flere observasjoner i framtidige undersøkelser.
- Variasjon i forsuring og kalking er dårlig representert i de datasett som er tilgjengelige og slike datasett bør skaffes. Det er pekt på måter å gjøre dette.
- Data som viser utvikling over tid i ulike vassdragstyper (regulerte, sure, kalkede og referanser til disse) er svært begrenset. Intensivert overvåking og reanalyser bør derfor gjennomføres.

11. Referanser

- Brandrud, T.E. 1999. Undersøkelse av vannvegetasjon i forsurete/kalkete lokaliteter i Hordaland i 1996-97: Eksingedalsvassdraget i Vaksdal, Frølandsvatn i Samnanger og Havsgårdsvatn i Fusa. Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport 4074.
- Brandrud, T.E. og Mjelde, M. 1993. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Naturens Tålegrenser rapp. 29.
- Brandrud, T.E. og Johansen, S.W. 1999. Ny trase E39 over Selura ved Flekkefjord. Effekter på vannvegetasjon og tilgroing. NIVA, rapport 4050.
- DN 1994. Kalking i vann og vassdrag. FoU-virksomheten, Årsrapporter 1993. Direktoratet for naturforvaltning, notat 1994-14.
- DN 1995. Kalking i vann og vassdrag. FoU-virksomheten, Årsrapporter 1994. Direktoratet for naturforvaltning, notat 1995-9.
- DN 1997. Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1996. Direktoratet for naturforvaltning, notat 1997-1.
- DN 1999. Effekter av kalking på biologisk mangfold. Basisundersøkelser i Tovdalsvassdraget 1995-96. Direktoratet for naturforvaltning, utredning 1999-9.
- DN 2000a. Effekter av kalking på biologisk mangfold. Undersøkelser i Tovdalsvassdraget 1997-98, de to første årene etter kalkingsstart. Direktoratet for naturforvaltning, utredning 2000-4.
- DN 2000b. Effekter av forsuring og kalking på makrovegetasjon i vann. En kunnskapsstatus. Direktoratet for naturforvaltning, utredning 2000-6.
- DN 2001. Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 2000. Direktoratet for naturforvaltning, notat 2001-2.
- DN 2002. Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2001. Direktoratet for naturforvaltning, notat 2002-1.
- Gravem, F. 2000. Kartlegging av krypsiv og oppvekst- og gytemuligheter for fisk i Otra mellom Tjurrmo og Hekni kraftverk i 1999. Statkraft Engineering, rapport SE/99/120.
- Gravem, F. 2002. Kartlegging av krypsiv i Otra mellom Tjurrmo og Hekni kraftverk i 2001. Statkraft Engineering, rapport N9013G-R02/02.
- Hindar, A., Teien, H.-C., Salbu, B., Lierhagen, S. og Oug, E. 2000. Faktorer som påvirker aluminiumskjemien og dermed vannkvalitetsmålet for laks i Tovdal- og Mandalsvassdraget. NIVA, rapport 4229. 81 s.
- Hobæk, A. Bjerknes, V. Brandrud, T.E. og Bækken, T. 1996. Evaluering av fullkalkete innsjøer i Sogn og Fjordane: Fiskebestander, makrovegetasjon, bunndyr og dyreplankton. NIVA, rapport 3385. 81s.

Johansen, S.W. 1993. Krypsiv i Mandalsvassdraget. Status for utbredelse, vurdering av tilgroing og årsaker, samt forslag til tiltak. NIVA, rapport 2954. 56s.

Johansen, S.W. 1997. Krypsiv i Suldalslågen 1997. Status for utbredelse og omfang før kalking. NIVA, rapport 3757. 22s.

Johansen, S. W. 2000. Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann. Effekter på ulike begroingssamfunn. NIVA, rapport 4322.

Johansen, S. W. 2002. Tiltaksplan for fjerning av krypsiv i Otra gjennom Valle kommune. NIVA, rapport 4579. 54 sider.

Johansen, S.W., Brandrud, T.E. og Mjelde, M. 2000. Konsekvenser av reguleringsinngrep på vannvegetasjon i elver. Tilgroing med krypsiv. Kunnskapsstatus. NIVA, rapport 4321. 67 sider.

Kaste, Ø., Brandrud, T.E., Lindstrøm, E-A. og Aanes, K.J. 1996. Otra 1992-1995. Tiltaksorientert overvåking og konsekvensundersøkelse av industriutslipp. NIVA, rapport 3479. 51s.

Lucassen, E., Oonk, M.M.A., Roelofs, J.G.M. and Brandrud, T.E. 1996. Effect of acidification, liming and reacidification on water quality, sediment characteristics and macrophyte development of SE and SW Norwegian soft-water lakes. NIVA, særtrykk S-2190.

Lynnebakken, T. og Moe, E. 2001. Krypsiv i Sørlandsvassdrag. Rapport fra forprosjekt. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernavdelingen, rapport nr. 1-2001.

Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., McCartney, M., Saravanan, R. and Visbeck, M. 2001. North Atlantic Climate Variability: phenomena, impacts and mechanisms. Inter. Jour. Climatology, vol. 21, No.15: 1863-1898

Ousdal, J.O. 2000. Problemvegetasjon i Kvina. En innledende registrering i tre utvalgte terskelbassenger høsten 1999. Notat, februar 2000. 13 sider.

Roelofs, JGM., Brandrud, T.E. and Smolders, AJP. 1994. Massive expansion of *Juncus-bulbosus* L. after liming of acidified SW Norwegian lakes. Aquatic Botany, vol. 48, no. 3-4: 187-202.

Roelofs, JGM., Smolders, AJP., Brandrud, T.E. and Bobbink, R. 1995. The effect of acidification, liming and reacidification on macrophyte development, water quality and sediment characteristics of soft-water lakes. Water, Air Soil Pollut. 85: 967-972.

Rørslett, B. 1986. Vannvegetasjon i Venneslafjorden. Foreløbig vurdering av tilgroing 1986. NIVA, rapport 1906. 25s.

Rørslett, B. 1987. Tilgroing i Otra nedstrøms Brokke. Problemanalyse og forslag om tiltak. NIVA, rapport 1997. 40 s.

Rørslett, B. 1991. Krypsiv i Otra nedstrøms Brokke: Storskala innfrysningforsøk 1991. NIVA, rapport 2660. 11s.

Rørslett, B. 1994. Langtidsendringer i makrovegetasjon i innsjøer i Sør-Norge. Eksempler fra Sørlandet og Maridalsvatn ved Oslo. NIVA, rapport 3179. 42s.

Rørslett, B. 1997. Undersøkelser i samband med fjerning av krypsiv i Otra ved Valle og Straume. NIVA, notat, 15.juni 1997, 10 sider. upubl.

Rørslett, B., Brandrud, T.E. og Johansen, S.W. 1990. Tilgroing i terskelbasseng i Otra ved Valle. Problemanalyse og forslag om tiltak. NIVA, rapport 2442. 117s.

SFT 2002. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport-Effekter 2000. Statens forurensningstilsyn, rapport 834. 197 s.

Svalheim, E., Often, A. og Brandrud, T.E. 2000. Endringer i vannvegetasjon i Vegår, Vegårshei kommune, Aust-Agder 1939-1998. NIVA, rapport 4326.

Åtland, Å., Bjerknes, V., Hobæk, A., Håvardstun, J., Gladsø, J.A., Kleiven, E., Mjelde, M. og Raddum, G. 2001. Biologiske undersøkelser i 17 innsjøer i Sogn og Fjordane høsten 2000. Kalkingeffekter, vannkvalitet, fiskebestander, vegetasjon, bunndyr og dyreplankton. NIVA, rapport 4354.